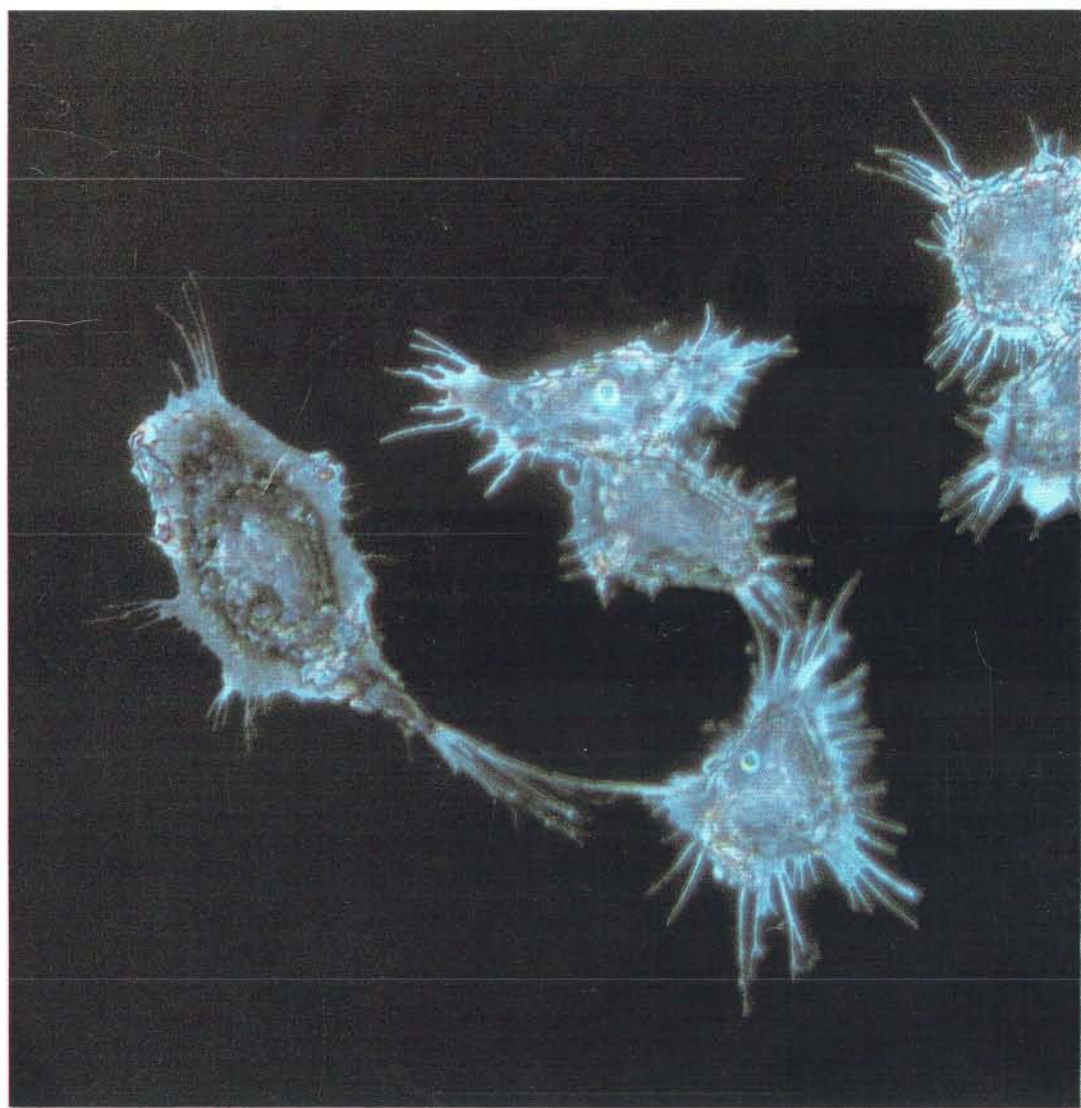


4 | 57^e jaargang

NATUUR '89 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



ONTSTEKING/ DE EIFFELTOREN/THERMODYNAMICA VAN LEVENDE SYSTEMEN/
HET GEHEUGEN ALS NETWERK/QUASARS/BOLBLOEMEN

**SOMMIGE
SLECHTZIENDEN
ZIEN DAT.**

**SOMMIGE
SLECHTZIENDEN
ZIEN DAT.**

SOMMIGE GOEDZIENDEN ZOULDEN DAAR EENS AAN MOETEN DENKEN.

Zo'n honderdduizend Nederlanders hebben te kampen met slechthooftheid.

Dat is niet zielig, maar wel verdraaid lastig. Want sommige slechthoofden kunnen bijvoorbeeld overdag redelijk goed zien.

Maar 's avonds praktisch geen snars.

Anderen zien een paar vierkante centimeter scherp, maar alles er omheen wazig.

Zo zijn er vele vormen van slechthoof-

heid, waar weinig of niets aan te doen is.

U kunt er wel iets aan doen.

Heel af en toe. Gewoon door begrip te tonen. Of waar nodig een helpende hand uit te steken.

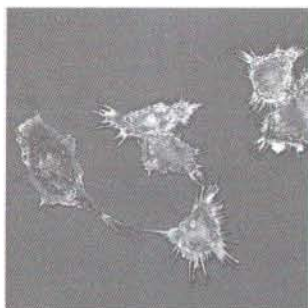
Soms herkent u een slechthoofd aan de button die verkrijgbaar is bij de Nederlandse Vereniging van Blinden en Slechthoofden, Postbus 2344, 3500 GH Utrecht, telefoon 030 - 93 11 41.



NATUUR '89 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 10,00 of 200 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Het celoppervlak van deze macrofagen is met behulp van een monoklonale antistof gekleurd. Daardoor zijn hun uitlopers mooi zichtbaar gemaakt. Macrofagen spelen een rol in de afweerreacties van het lichaam op vreemde indringers, zoals bijvoorbeeld bacteriën. Over het verloop van ontstekingsreacties leest u meer op pag. 266 e.v.

(Foto: I. Cornelese-ten Velde, Sylvius Laboratorium, Leiden)

Hoofredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Older Juninck.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel. 04759-1305.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein, J. v. Rijn, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems, Drs G.P.Th. Kloeg.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israel, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukeleire, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluys, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, J. Pohlen, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-81223*.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

EURO
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.

INHOUD

| | |
|---------------------------|------|
| ACTUEEL | IV |
| AUTEURS | VIII |
| HOOFDARTIKEL Hersen en | 253 |

DE EIFFELTOREN 254

Groot gebaar honderd jaar

J. Oosterhoff

Dezer dagen is het honderd jaar geleden dat de Eiffeltoren voltooid werd: het eerste bouwwerk dat 1000 voet hoog is. Het ontwerp kwam van het bureau van Gustave-Alexandre Eiffel. De smeedijzeren toren heeft een spitse en gebogen vorm om weerstand te kunnen bieden aan de wind. De voornaamste draagelementen zijn vier hoekpylonen die op twee niveaus zijn verbonden door grote vakwerkliggers. De toren is echter niet de grootste bouwkundige prestatie van die tijd.

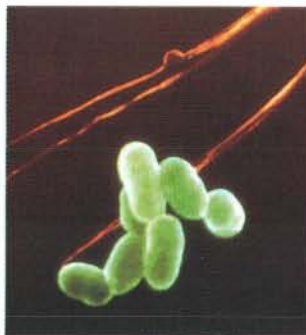


ONTSTEKING 266

Interleukinen als Januskop

A.J.D.A. Billiau

Als je een snee, schram of insektenbeet hebt opgelopen, kleurt je huid snel rood en zwelt. Het omringende weefsel wordt warm en je voelt vaak pijn. Het is het begin van een ontsteking. Een ontsteking is een zeer gecompliceerde reactie van het lichaam op indringers. Zij wordt vooral veroorzaakt door witte bloedcellen. Daarvan bestaan verschillende typen. Om een ontstekingsreactie op te roepen scheiden witte bloedcellen boodschappermolekulen uit: de inflammatoire mediators. Wat doen deze stoffen om infecties te bestrijden?

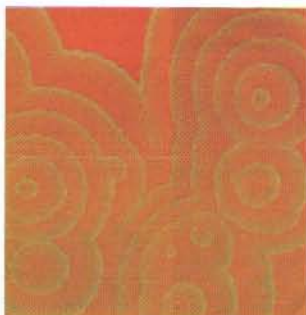


VER VAN EVENWICHT 278

Thermodynamica van levende systemen

A. Schuijff

Niet-levende systemen verkeren in thermodynamisch evenwicht; levende wezens echter niet. De klassieke thermodynamica beschrijft alleen systemen die in evenwicht verkeren. Daardoor lijkt het wel of het leven in thermodynamisch opzicht niet kan bestaan. Dat is in strijd met de waarneming van alledag. De Belgische geleerde Prigogine heeft laten zien dat ook levensprocessen met behulp van de thermodynamica verklaard kunnen worden.



NATUUR '89 & TECHNIEK

april / 57^e jaargang / 1989



HET GEHEUGEN ALS NETWERK

C.M.A. Pennartz, F.H. Lopes da Silva en
W.H. Gispen

290

Wat verandert er in ons zenuwstelsel als we iets leren? Welke sporen laten opgedane ervaringen achter in de grijze massa van de hersenen? Lange tijd is men op zoek geweest naar bepaalde molekulen die herinneringen zouden vastleggen. Ook is geprobeerd het geheugen te lokaliseren in afzonderlijke hersencellen. De laatste jaren dringt echter het besef door dat veranderingen in de activiteit van synapsen ten grondslag liggen aan het ontstaan van geheugensporen. Herinneringen worden in die visie opgeslagen in netwerken van onderling verbonden zenuwcellen.



HET OUDSTE LICHT

Straling van quasars

302

R. Staubert en V. Icke

Quasars zijn de verst van ons verwijderde en meest energierijke objecten die wij in de ruimte kennen. Het onderzoek aan quasars is daarom van bijzondere betekenis. Het levert niet alleen meer kennis op over de ontwikkeling van het heelal als geheel, maar ook over processen die zich onder extreme natuurkundige omstandigheden afspelen en waarbij onvoorstelbaar grote hoeveelheden energie worden omgezet. Nog zeer regelmatig ontdekt men nieuwe verschijnselen die ons inzicht in deze wonderlijke hemellichamen verdiepen.



BOLBLOEMEN

Iedere dag lente

314

W.J. de Munk

Tulpen zijn lentebloemen. Toch zijn ze in december volop verkrijgbaar. Hetzelfde geldt voor irissen, narcissen, hyacinten en lelies. Blijkbaar is het mogelijk deze bolbloemen het hele jaar in bloei te krijgen. Bloeispreiding is een staaltje van vakmanschap waarmee Nederlandse tuinders wereldfaam hebben verworven. Zij maken daarbij gebruik van hun inzicht in de processen die zich in de loop van een jaar in bloembollen afspelen en manipuleren de rust- en groeiperioden die de bollen van nature doormaken.

ANALYSE EN KATALYSE

De maatschappelijke relevantie van zeegras/
Starwars in Nederland

328

BEZIENSWAARDIG/TOETSVRAGEN/PRIJSVRAAG

338

ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving
natuur en techniek

DNA-diagnose op één cel

Enkele jaren geleden ontwikkelden onderzoekers van het Californische biotechnologische bedrijf Cetus de *Polymerase Chain Reaction (PCR)* of *polymerase kettingreactie*. PCR laat toe om een minieme hoeveelheid van een bekend stukje DNA, temidden van ander DNA, zo sterk te vermenigvuldigen dat het kan worden waargenomen met de standaard DNA-detectiemethoden (zie *Natuur en Techniek*, 10/1988, p. 822). De polymerase kettingreactie (PCR) gebeurt in de reageerbuis en duurt slechts enkele uren. Het concept is zo eenvoudig en elegant dat PCR het biotechnologisch ei van Columbus kan worden genoemd. Intussen heeft de techniek haar stormachtige intrede in de moleculaire biologie en de geneeskunde gemaakt en werden verbluffende resultaten verkregen.

De meest spectaculaire toepassing is wel de analyse van DNA-volgorde uitgaande van materiaal uit slechts één cel. De hoeveelheid DNA in een menselijke lichaamscel bedraagt 10 picogram, 10^{-11} g of één honderdste van een milligram. Het is nu mogelijk gebleken om een DNA-volgorde te analyseren die op zijn beurt slechts één tienmiljoenste van deze 10 picogram uitmaakt. De onderzoekers van Cetus die dit technologisch hoogstandje voor elkaar brachten, waren er reeds eerder in geslaagd om genetische diagnose te verrichten uitgaande van één enkele haar — een resultaat dat van belang kan zijn bij het opsporen van misdadigers. Nu hebben ze nog een stap verder gezet, met een analyse van

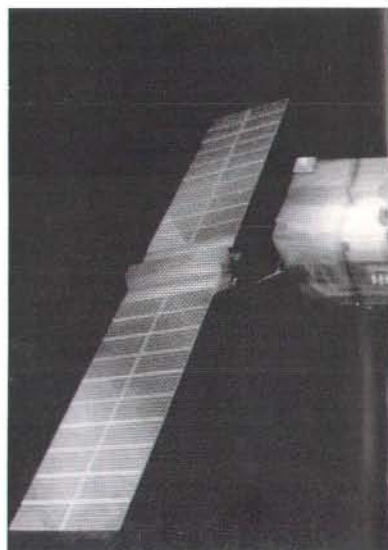
een specifieke DNA-volgorde uit één enkele menselijke zaadcel (*Nature*, Vol. 335, 29 september 1988, p. 414-417).

Het team was in staat om de twee varianten van een bepaald gen te onderscheiden in twee verschillende zaadcellen. Ze slaagden er zelfs in om in één experiment onderscheid te maken tussen twee verschillende genen in één enkele cel. Dit resultaat maakt het mogelijk om de ligging van genetische merkers (RFLP's — zie *Natuur en Techniek*, 3/1988, p. 250-255) ten opzichte van het te detecteren gen in kaart te brengen door de onderlinge recombinatiefrequenties te berekenen, uitgaande van de analyse van grote aantallen zaadcellen. Thans worden de genetische afstanden tussen merkers en genen berekend door analyse van het DNA van grote stambomen met drie of meer generaties — een omslachtig en kostbaar karwei. Dank zij PCR is het nu mogelijk om die afstand met grotere resolutie en veel sneller te berekenen. Het belang van een nauwkeurige genetische kaart is dat de zoektocht naar ziektegenen aanzienlijk vereenvoudigt wordt.

Een andere krachttoer is de niet-destructieve diagnose van het geslacht van een menselijk embryo, opnieuw aan de hand van DNA uit één enkele cel (*Lancet*, No. 8634, 18 februari 1989, p. 347-349). Onderzoekers uit het Hammersmith Hospital in London slaagden erin om microchirurgisch één enkele cel af te zonderen van een menselijk embryo in zes- tot tiencellig stadium, drie dagen na een in vitro fertilisatie,

een reageerbuisbevruchting. Met behulp van PCR werd in slechts acht uur tijd uitgemaakt of het een mannelijk embryo betrof, door de analyse van DNA-volgorde specifiek voor het Y-geslachtschromosoom. Voor twintig van de vijftientig embryo's werd het geslacht nadien nagegaan met twee onafhankelijke methoden. Slechts in twee gevallen werden er fouten gemaakt, maar het betrof hier abnormale embryo's die zich toch niet verder ontwikkeld zouden hebben.

De hamvraag is uiteraard of het weghalen van één cel nog een normale ontwikkeling van het embryo toelaat. De onderzoekers rapporteerden dat eenzelfde per-



Een impressie van de ERS-1 met opgevouwen zonnepanelen (Foto: ESA).

centage gemanipuleerde embryo's zich als niet-gemanipuleerde embryo's in de reageerbuis tot de zesde dag normaal ontwikkelde. Het is bekend dat embryo's die ontstaan zijn door IVF in het vroege ontwikkelingsstadium vaak één of meerdere cellen verliezen, maar er zijn geen aanwijzingen dat dit tot misvormingen aanleiding kan geven. De cellen worden in dit stadium immers *totipotentieel* geacht, dat wil zeggen dat ze zich nog kunnen ontwikkelen tot alle mogelijke celtypen en het verlies van een naburige cel kunnen goedmaken. Hoe dan ook, het ultieme bewijs van de klinische toepasbaarheid van geslachtsbepaling op pre-implantie-embryo's zal moeten worden geleverd door de gebiopsieerde embryo's in de moeder in te planten. Het ligt voor de hand dat dit om ethische redenen eerst op proefdieren zal worden bestudeerd. De 'niet-destructieve geslachtsbepaling' op embryo's kan van nut zijn in gevallen van ernstige X-geslachtschromosoom-gebonden aandoeningen, zoals de musculai-

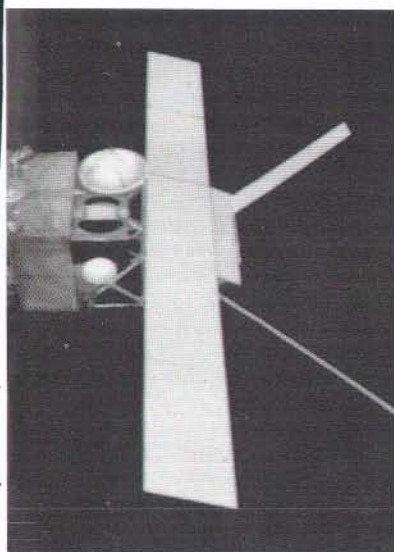
re dystrofie van Duchenne, een fatale spierziekte. De moeder is de draagster van de mutatie; ze is zelf gezond, maar geeft het defecte gen door aan de helft van haar kinderen. Aangezien jongens slechts één X-chromosoom hebben, komt de ziekte tot uiting bij de helft van haar zonen, terwijl haar dochters gezond zijn, maar wel voor de helft draagsters worden. Momenteel kan men alleen de geboorte van zowel zieke als gezonde jongens voorkomen door zwangerschapsonderbreking veel later in de zwangerschap, na geslachtsbepaling met behulp van chorionvillus-analyse of amnionvocht-punctie. In een groeiend aantal gevallen laat rechtstreekse diagnose van het genetische defect, in plaats van alleen het geslacht, toe om de geboorte van alleen de aangedane jongens te voorkomen. Door een combinatie van IVF en embryo-diagnose zouden alleen vrouwelijke embryo's kunnen worden ingeplant, zodat zwangerschapsonderbrekingen vermeden kunnen worden – hetgeen heel wat

leed zou besparen bij de ouders. De bepaling van het geslacht aan de hand van één enkele cel werd vergemakkelijkt door het feit dat de onderzochte DNA-volgorde op het Y-chromosoom duizendmaal aanwezig is. Het betreft hier een zogenaamde repetitieve volgorde, ogenschijnlijk zonder functie. De volgende stap is het verfijnen van de techniek tot diagnose van een volgorde aanwezig in één enkele kopie van een gen op een chromosoom mogelijk is. Dan zou genetische embryo-diagnose mogelijk zijn voor tal van genetische aandoeningen.

Deze vorm van negatieve eugenetica – vermijden van geboorte van genetisch defecte individuen – roept heel wat ethische vragen op, maar het dient onderstreept dat deze technologie nog verre van klinisch toepasbaar is. De veiligheid van de procedure moet ondubbelzinnig worden aangetoond – eerst op proefdieren en nadien, zo gewenst, op mensen.

Dr Peter Mombaerts

MIT, Cambridge, Mass., USA



Europees oog op aarde

El Niño, overstromingen op het Indiase subcontinent, droogtes in Australië, grote onderwaterstromen in de oceanen, het gat in de ozonlaag boven Antarctica, het broeikaseffect, al deze verschijnselen zal de European Remote Sensing Satellite (ERS-1) moeten bestuderen. De Europese ruimtevaartorganisatie ESA wil in september 1990 die eerste Remote Sensing Satellite in een baan om de aarde brengen. Het ERS-1 project is inhoudelijk gericht op klimaatwaarneming en -verandering. De satelliet verschilt daarvoor van de routinematige weersatellieten die door meteorologische stations voor de weersvoorspelling worden gebruikt. De ERS-1 maakt deel uit van een

aantal internationale missies die in het volgende decennium meer licht moeten werpen op de meest frappante en onheilspellende klimaatverschijnselen. De elf lidstaten van ESA plus de Verenigde Staten, de Sovjetunie, Japan, China, Australië, Brazilië, Argentinië en Pakistan hebben de klimaatstudies vanuit de ruimte ook als belangrijkste onderwerp van het internationale ruimtejaar 1992 gekozen.

In tegenstelling tot de Amerikaanse Landsats en de Franse SPOT-satellieten die met hun optische instrumenten niet in het donker en maar ten dele door wolken kunnen kijken, kan de ERS-1 met zijn radarinstrumenten dat wel. Radargolven worden

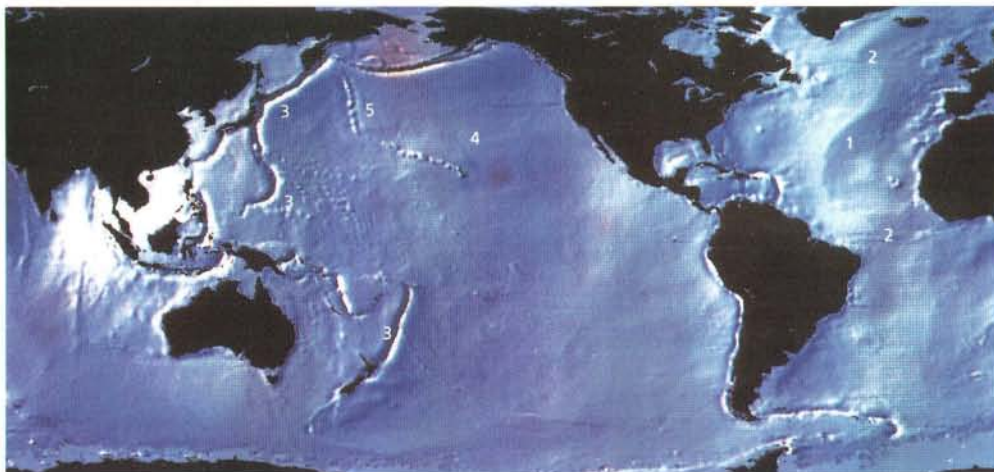
niet door waterdamp geabsorbeerd en aangezien de satelliet ze zelf uitzendt, doet het er ook niet toe of het dag of nacht is. Uit de tijd die verstrijkt voor de satelliet het weerkaatste signaal opneemt, kan precieze informatie worden verkregen over de positie van geografische objecten, zeeniveaus en de ijskappen op de polen. Ook kan men indirect de windsnelheid aan het zee-oppervlak bepalen. Wind veroorzaakt – afhankelijk van de windsterkte – kleine of grotere golven die de radargolven in een bepaald patroon terugkaatsen. De ERS-1 kan ook informatie over de oceaانبodem verkrijgen, terwijl met de Along

Track Scanning Radiometer (ATSR) temperaturen van het oppervlak kunnen worden gemeten. Hierdoor kunnen onderzoekers een beter beeld krijgen van de gigantische onderwaterstromen van meer dan 100 km breed op een diepte van 1000 meter die grote invloed op het leven in de oceanen hebben.

Een waterkolom van slechts 2,5 meter hoog heeft een even grote warmtecapaciteit als de kilometers dikke atmosfeer daarboven. Dat is één van de redenen waarom de oceanen een zeer dominante invloed op alle klimaatverschijnselen hebben. Een voorbeeld van de geweldige krachten

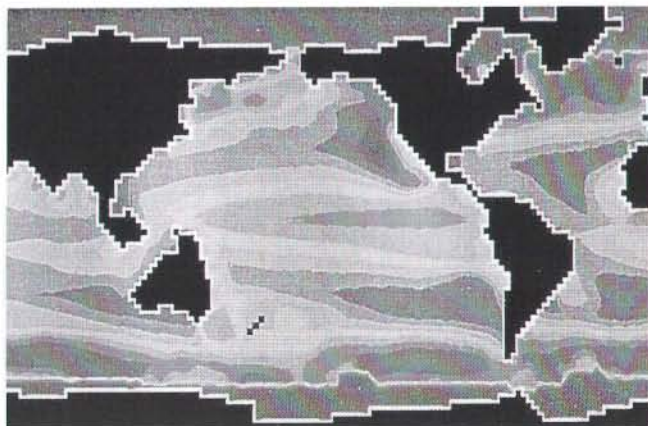
die in de oceaan schuilen is het ontstaan van El Niño. Bij de El Niño van 1982 en 1983 dook ongewoon veel warm water voor de kust van Zuid-Amerika op (zie *Natuur en Techniek* 1989: 57, no 1; pag 42-54).

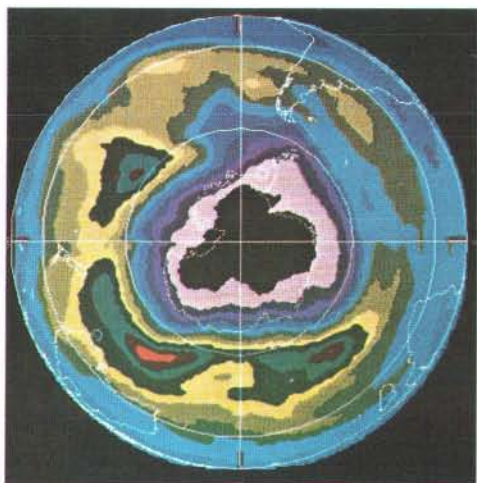
Een ander fenomeen dat onderzoekers fascineert maar dat ook zorgen baart is het broeikas-effect. Sinds 1956 is het percentage koolstofdioxide in de atmosfeer met 12 gestegen. Niet alleen door het gebruik van grote hoeveelheden fossiele brandstoffen, maar ook door het op grote schaal verbranden van de resten van regenwouden rond de evenaar (zie *Natuur en Techniek*, 1988: 56, no. 3;



ERS-1 zal ook de oceaانبodem, zoals hier de van de Stille Oceaan, in de gaten houden (Foto: ESA).

Door opeenhoping is de concentratie CO₂ in de atmosfeer toegenomen sinds het begin van de industriële revolutie. De donkere kleuren geven de grote toenames aan. Het rekenmodel van het Max Planck Instituut voor Meteorologie in Hamburg voorspelt dat de oceanen steeds minder koolstofdioxide kunnen opnemen (Foto: MPG/Hasselmann).





Het 'gat' in de ozonlaag boven Antarctica (Foto: NASA).

pag. 210-220). Door dit hogere gehalte aan CO_2 laat de atmosfeer wel het zonlicht door, maar laat in vergelijking met vroeger minder ingestraalde warmte naar de ruimte ontsnappen. Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's), die worden gebruikt als koelmiddel in koelkasten, als drijfgas in spuitbussen en als reinigingsmiddel in de elektronische industrie, zijn niet alleen verantwoordelijk voor verdwijnen van de ozon uit de stratosfeer, maar dragen ook bij aan het broeikas effect. Pessimistische schattingen voorspellen dat de temperatuur binnen een halve eeuw 1,5 tot 4,5°C zal stijgen, maar op hogere breedtes wel 3 tot 10°C. De ERS-1 zal in de gaten houden of dit zo snel gebeurt en hoe de ijskappen daarop reageren.

Hoe de ijsmassa's op aarde zich gedragen is overigens nog met vele vragen omgeven. Antwoorden op die vragen zijn van belang omdat ijs het gezicht en klimaat van de aarde mede bepaalt. Met de Radar Altimeter biedt de ERS-1 de mogelijkheden de ijsvelden van gletsjers in de gaten te houden en vroegtijdig veranderingen te detecteren.

ESA is van plan om de ERS-1 snel te laten volgen door de ERS-2. Dit plan is ingegeven door de

technische mogelijkheden die ERS-1 biedt. Het belangrijkste instrument van de ERS-1 is een Synthetic Aperture Radar, die enerzijds veel energie verbruikt en anderzijds veel experimenten vereist om de beste resultaten te verkrijgen. Een tweede satelliet om de eerste te ondersteunen zou daarom gewenst zijn. De gegevens, die de ERS-satellieten zouden verschaffen, waarschuwen vroegtijdig voor veranderingen van de zeespiegel, de vegetatie, de regenval, zonnestraling, wolken en wind. Dit zal weer verder doorwerken in de samenleving en economie. Ook daarom zou een voortzetting via de ERS-2 logisch zijn, maar of die doorgaat is nog niet helemaal zeker.

Toch hebben de Engelsen in december vorig jaar al laten weten dat ze de voordelen van remote sensing vooralsnog niet inzien en dus nog geen toestemming geven voor ERS-2. Volgens de Engelse overheid zou het bedrijfsleven bij dit soort projecten in moeten springen. Daarnaast willen de Fransen hun aandacht (en dus hun geld) meer uit laten gaan naar het Europese ruimteveer Hermes, naar de ontwikkeling van Arianeraketten en naar de samenwerking met de Amerikanen en Russen.

Volgens Michael Praet, ESA-verantwoordelijke bij de Administratie van Weterischapsbeleid, staat België positief tegenover ERS-2. De beslissing over ERS-2 valt pas in oktober wanneer de ESA-raad hierover beslist. Er liggen dan waarschijnlijk twee voorstellen. Eén waarin voor de ERS-2 wordt gepleit; een ander waarin een verbeterde versie van de Franse SPOT-satelliet wordt voorgesteld. Zou de keus daarop vallen, dan is ERS-2 niet nodig. Voor België is het geen financiële kwestie; eerder een technische vraag welk project wetenschappelijk gezien het meest kan opleveren.

Het Ministerie van Economische Zaken in Den Haag, onder wie het Nederlandse aandeel in ESA valt, verwacht dat de Nederlandse regering ERS-2 wel zal financieren. Hiervoor zijn twee argumenten aangedragen. Het is volgens een zegsman een illusie te verwachten dat het bedrijfsleven nog deze eeuw gebruik gaat maken van de gegevens die de ERS-satellieten overseinen. Het bedrijfsleven in Nederland zou er nog niet aan toe zijn de mogelijkheden te benutten. Verder is het zo, aldus de woordvoerder, dat de huidige en toekomstige afnemers van de informatie die door de satellieten wordt verschaft toch meer gezocht moet worden in de (semi)overheidsfeer. Als voorbeelden noemt hij daarbij het KNMI of beleidsmakers bij de ministeries van Economische Zaken of van VROM (Milieu). In Brussel en Den Haag wist men verder te vertellen dat de Engelsen hun standpunt inmiddels wat hebben verzacht, terwijl de Fransen nog dwars liggen omwille van hun SPOT-programma.

J.A.B. Verduyn

Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij

Ouderschap

De ontwikkeling van de biowetenschappen en veranderingen in gedragspatronen hebben de mogelijkheden van het ouderschap verruimd, zoals *in vitro* bevruchting (reageerbuis-baby's), kunstmatige inseminatie en adoptie. Overheden hebben soms de neiging de bevolkingsaanwas te beïnvloeden.

Een greep uit de inhoud:

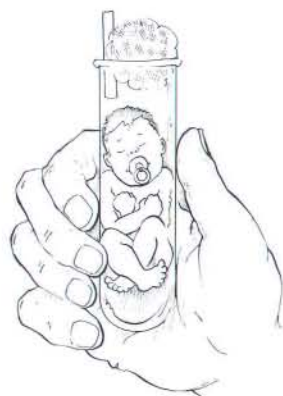
Kinderwens en medische techniek
G.H. Zeilmaker

Gezinsvorming
H.J. Heeren

Adoptie van kinderen in nood
R.A.C. Hoksbergen

Ouderschap in juridische zin
M.W. Rood-de Boer

Bevolkingspolitiek
N. van Nimwegen



Het cahier OUDERSCHAP kan besteld worden bij Natuur en Techniek - Informatiecentrum - Postbus 415, 6200 AK Maastricht, tel. 043-254044, vanuit België: 00-3143254044. Het kost f 7,50 (145 F).

AUTEURS

Prof ir J. Oosterhoff ('Eiffeltoren') is sinds 1965 hoogleraar in het ontwerpen van constructies aan de Delftse faculteiten bouwkunde en civiele techniek. Hij is op 24 april 1924 geboren. Hij studeerde civiele techniek aan de Technische Hogeschool in Delft en had na zijn afstuderen in 1953 een eigen ingenieursbureau in Arnhem.

Prof dr A.J.D.A. Billiau ('Ontsteking') is geboren in Hasselt op 20 januari 1937. Hij studeerde geneeskunde aan de Katholieke Universiteit te Leuven, waar hij in 1969 promoveerde. Een jaar later werd hij er benoemd tot hoogleraar. Zijn specialisme heeft vooral betrekking op de werking van interferon.

Prof dr A. Schuijff ('Ver van evenwicht') is hoogleraar thermodynamica aan de Rijksuniversiteit van Utrecht. Hij is op 12 juni 1927 te Baarn geboren en studeerde scheikunde aan de Rijksuniversiteit van Utrecht, waar hij in 1962 promoveerde. In 1980 werd hij benoemd tot hoogleraar.

Drs C.M.A. Pennartz ('Geheugen') is geboren in 's-Gravenhage op 7 oktober 1963. Hij studeerde biologie in Nijmegen en Amsterdam. Momenteel is hij als neurobioloog verbonden aan de vakgroep experimentele dierkunde van de Universiteit van Amsterdam, waar hij werkt aan een promotie-onderzoek.

Prof dr F.H. Lopes da Silva ('Geheugen') is geboren in Lissabon op 24 januari 1935. Hij studeerde geneeskunde aan de universiteit van Lissabon. In 1965 werd hij medewerker van de afdeling hersenonderzoek van het Medisch-Fysisch Instituut TNO. Sinds 1981 is hij hoogleraar dierfysiologie in Amsterdam. Hij promoveerde in 1970.

Prof dr W.H. Gispen ('Geheugen') is hoogleraar moleculaire neurobiologie en wetenschappelijk directeur van het Rudolf Magnus Instituut in Utrecht. Hij is op 24 mei 1943 in Utrecht geboren, studeerde er biologie van 1961 tot 1967 en promoveerde er in 1970.

Prof dr R. Staubert ('Quasars') is op 25 maart 1939 in Burg/Magdeburg geboren. Hij studeerde natuurkunde aan de Christian-Albrechts Universität in Kiel, waar hij ook promoveerde. Na twee jaar voor de NASA in Houston gewerkt te hebben, trad hij in dienst van de universiteit van Tübingen, waar hij hoogleraar astrofysica is.

Dr V. Icke ('Quasars') is als universitair hoofddocent astrofysica verbonden aan de Leidse Sterrewacht. Hij is geboren in Utrecht op 23 juli 1946 en studeerde er theoretische natuurkunde en sterrenkunde. Hij promoveerde in Leiden in 1972.

Dr W.J. de Munk ('Bolbloemen') is op 21 september 1933 in Zaandam geboren. Hij studeerde biologie aan de Rijksuniversiteit te Leiden. Tijdens en na zijn studie werkte hij als onderwijzer en leraar biologie. In 1963 trad hij in dienst van het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek te Lisse. Hij promoveerde in 1973.

Hersenen

Een televisiebeeld is opgebouwd uit 625 lijnen, elke lijn bestaat uit 625 beeldpunten, die zijn opgebouwd uit drie kleurpunten; van elk van deze punten wordt een helderheid bepaald, dus voor elk van deze punten is een informatie-eenheid nodig, een byte, bestaande uit meerdere (toch tenminste 4) bits. Een televisiebeeld omvat dus zeker vijf miljoen bits aan informatie. Een programma wordt gepresenteerd met 25 beelden per seconde, en dat betekent dat we bij een uur televisie zo ongeveer $5 \cdot 10^{11}$ bits informatie voorgezet krijgen.

Aangenomen wordt dat er in onze hersenen zo ongeveer 10^{13} hersencellen zijn. Uiteraard is een groot deel hiervan betrokken bij de regeling van de hersenactiviteit zelf en van een groot aantal andere activiteiten, maar laten we dat nu verwaarlozen en een simpel model van de hersenen hanteren, waarbij elke cel optreedt als een geheugeneenheid waarin één bit (0 of 1) kan worden opgeslagen, waarbij het een kwestie van organisatie is welke functie die bit kan hebben.

Als dit model van de hersenen juist zou zijn, dat wil zeggen als de hersenen eenzelfde soort informatie-eenheden op eenzelfde manier zouden verwerken als een computer, dan zouden dus met een uur of twintig televisie kijken de hersenen vol zijn. Eén keer alle wedstrijden zien van het nationale elftal bij een Europees of wereldkampioenschap, en voor de rest van het bestaan kunnen we niets meer: geen vinger optillen, geen woord lezen, tenzij natuurlijk bij een volgende activiteit een deel van het geheugen zou worden gewist.

Hoewel nogal onduidelijk is wat we wel en wat we niet onthouden, of beter: op de een of andere manier opslaan, zijn er veel aanwijzingen dat we misschien niet alles wat we waarnemen bewaren, maar toch in elk geval ontzettend veel. Niet dat we dat op elk moment paraat hebben; dat we, om in computertermen te blijven, *random acces* tot alle gegevens hebben, maar een geur, een voorwerp, een beweging, een woord of klank kunnen hele situaties terugroepen waaraan we jaren, zelfs tientallen jaren niet meer hebben gedacht. Pennartz, Lopes da Silva en Gispén vertellen in dit nummer (pag. 290) dat zo'n effect ook door elektrische prikkels in sommige hersencellen teweeg kan worden gebracht.

Uit het voorgaande komen twee dingen naar voren: in de eerste plaats (maar dat zal weinigen verrassen die niet gedachten, gevoelens, geheugen e.d. in een ziel of iets dergelijks plaatsen die los van het lichaam kan opereren) dat de informatie inderdaad op de een of andere manier fysiek in de hersenen is vastgelegd. In de tweede plaats dat ons eenvoudige model geen stand houdt.

Men moet bewondering hebben voor het vele fantastische werk op het gebied van de kunstmatige intelligentie, psychologische simulaties etc., waarmee de uitkomsten van hersenactiviteiten in bepaalde simulaties worden nagebootst. Er is evenwel grote voorzichtigheid geboden met de interpretatie van dit werk. Gezien het bovenstaande is het onwaarschijnlijk dat hiermee ook de werking van de hersenen wordt verklaard. Men kan per auto of te paard van Maastricht naar Maaseik gaan en in beide gevallen kan men iemand die eerst in Maastricht was later in Maaseik zien, maar dat maakt een auto nog niet tot een paard.



Met de voltooiing van de 300 m hoge Eiffeltoren, precies 100 jaar geleden, ging een lang gekoesterde wens van vele ingenieurs in vervulling: het maken van een 1000 voet hoge toren. Het ontwerp was afkomstig van medewerkers van de Franse ingenieur Gustave-Alexandre Eiffel. De toren, nog gebouwd van smeedijzer in plaats van het toen nieuwe materiaal staal, heeft zijn spitse en gebogen vorm om weerstand te kunnen bieden aan de wind. De voornaamste draagelementen zijn de vier hoekpylonen die op twee niveaus verbonden zijn door grote vakwerkliggers. In de toren zijn liften geïnstalleerd. Het was de eerste maal dat liften voor een dergelijk grootschalig project werden gebruikt. Ook is het bouwwerk een voorbeeld van het feit dat dit soort objecten in de 19de eeuw zeer snel werd gebouwd: de toren vergde nauwelijks twee jaar aan bouwtijd.

DE EIFFEL TOREN

J. Oosterhoff
*Faculteit der Bouwkunde
TU Delft*

**GROOT
GEBAAAR
HONDERD JAAR**



EURO
ARTIKEL

Zo lang mensen bouwen hebben zij het verlangen gehad om hoge bouwwerken te maken. Het ging daarbij nauwelijks om objecten waarbij de hoogte een nuttige functie heeft, zoals bij vuurtorens en televisietorens het geval is, maar om het oprichten van tekens met een symbolische waarde. Zo hadden de Egyptenaren hun piramiden en obeliskken, bouwden de Mesopotamiërs *ziggoerats* (tempeltorens, zoals de toren van Babylon) en maakten de Grieken de Colossus over de ingang van de haven van Rhodos. In de Middeleeuwen verrezen de gotische kerkhallen, vaak met hoge torens. De Nieuwe Tijd bracht de hoge klokketorens, (belforts, campaniles) en de hoge koepelkerken, zoals de Sint Pieterskerk te Rome en Saint Paul's Cathedral te London.

In de 19de eeuw was de industriële revolutie aanleiding tot een stormachtige ontwikkeling van de techniek, ook die van het bouwen. IJzer kwam in gebruik en bood nieuwe mogelijkheden voor het maken van hoge bouwwerken. In de Verenigde Staten verschenen aan het einde van de 19de eeuw de wolkenkrabbers. De eerste, het Home Insurance Building te Chicago uit 1885, had een ijzerskelet. Met zijn tien bouwlagen was het echter nog geen 50 m hoog. De hoogste bouwwerken waren toen de Obelisk van Washington (169 m), de kathedraal van Keulen (159 m) en de kathedraal van Rouen (150 m). Daarna volgde de piramide van Cheops bij Cairo met 146 m.

Was het bouwen in de eerste helft van de 19de eeuw meestal op bruikbaarheid gericht, de tweede helft, met name het einde van de eeuw, wordt gekenmerkt door grote gebaren. Er is toen een aantal pogingen ondernomen om torens te bouwen waarvan de hoogte de magische grens van 1000 voet (ongeveer 300 m) zou overschrijden. Zo maakte de Engelman Trevithick in 1833 een, overigens globaal, ontwerp voor een gietijzeren toren met een hoogte van 305 m en een diameter van 30 m aan de voet. De Amerikanen Clarke en Reeves maakten in 1874 ter gelegenheid van de wereldtentoonstelling te Philadelphia plannen voor een toren van 1000 voet, bestaande uit een smeedijzeren cilinder met een diameter van 9 m, door kabels verbonden met een verankeringsring met een diameter van 45 m. Voorts boden de Fransen Sébillot en Bourdais in 1881 een plan aan voor een cilindervormige stenen toren van 1000 voet die door middel van een

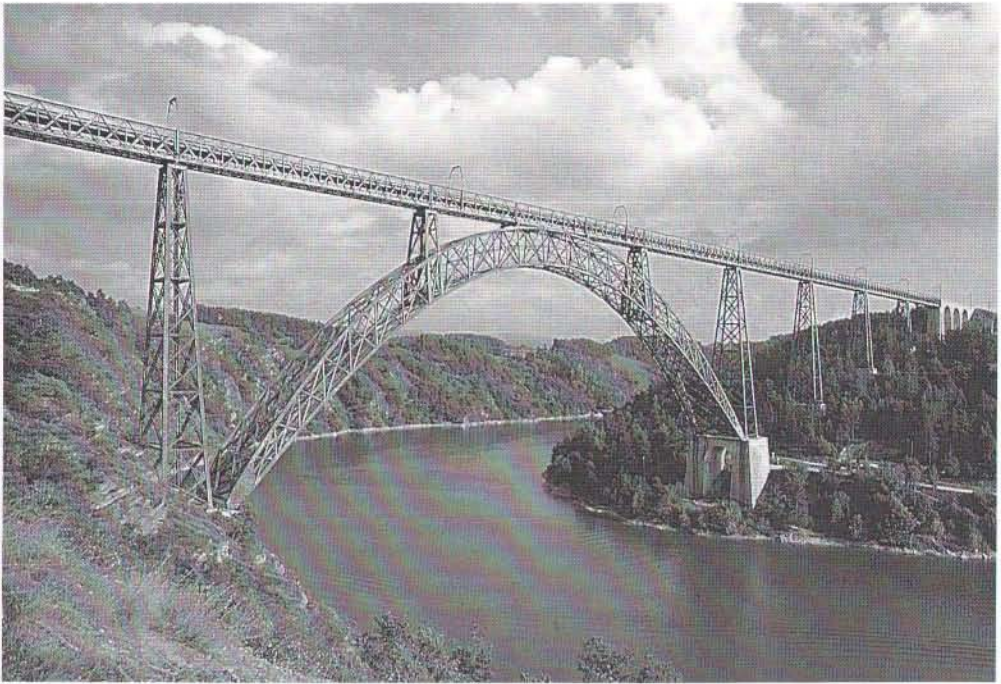
Eiffel

Gustave-Alexandre Eiffel werd in 1832 geboren te Dijon uit een familie van handwerkslieden, afkomstig uit Duitsland waar ze onder de naam Boenickhausen in het Eiffelgebied in de omgeving van Keulen woonden. De naam Eiffel werd pas in Frankrijk aangenomen. Nadat Eiffel in Dijon vier jaar het Lycée Royal had gevolgd ging hij in 1850 naar Parijs. Hier bezocht hij het Collège Sainte Barbe ter voorbereiding op de École polytechnique waartoe hij echter, door het zakken voor een examen in 1852, geen toegang kreeg.

Aan de École centrale des arts et manufactures, die meer gericht was op het bedrijfsleven en het vrije beroep, behaalde hij in 1855 het diploma in de chemie. Hij had deze richting gekozen met het oog op een werkkring in de azijnfabriek van een oom. Door onenigheid in de familie ging dit echter niet door. Door zijn opleiding had Eiffel echter wel veel materialenkennis.

Na zijn studie ging hij werken in een bedrijf van stoommachines, rollend materieel en ander spoorweggemateriaal leverde en onder leiding van Charles Nepveu stond. Hoewel er moeilijkheden waren, onder andere een faillissement, kwam Eiffel hier toch tot zijn eerste belangrijke ingenieurswerk. Van 1858 tot 1860 had hij de leiding van de bouw van een spoorbrug over de Garonne te Bordeaux. Hierbij ge-





bruikte hij een nieuwe methode voor het inbrengen van funderingspalen met behulp van hydraulische vijzels en luchtdruk. De uitvoering geschiedde volgens een nauwkeurig omschreven werkplan, een werkwijze die Eiffel ook bij zijn latere bouwwerken zou toepassen.

In 1864 vestigde hij zich als zelfstandig raadgevend ingenieur, terwijl hij in 1867 een eigen constructiewerkplaats stichtte. Hij ontwierp en vervaardigde in deze beginperiode de ijzeren boogspanten van het Palais des Machines voor de wereldtentoonstelling van 1867 te Parijs. In het Massif Central bouwde Eiffel een aantal hoge spoorwegviaducten, onder andere bij Busseau, Neuvial, Bouble, Rouzat en Bellon. Het waren constructies van ijzeren vakwerkliggers met parallelle randen op hoge piramidevormige ijzeren vakwerkpijlers. In 1875 volgde de Maria Pia-spoorbrug over de Douro te Oporto in Portugal, een boogbrug met vakwerkspanten. In 1884 kwam de beroemde brug over de Truyère bij Garabit tot stand (afb. I-2). Eiffel maakte in de periode van 1865 tot 1890 vele bruggen, niet alleen in Frankrijk maar ook in Spanje, Portugal, Hongarije,

I-1. Gustave-Alexandre Eiffel (1832-1923) poseert na voltooiing van de Eiffeltoren bij de top van zijn schepping: de eerste toren van 1000 voet.

I-2. In 1884 voltooide Eiffel de beroemde brug over de Truyère bij Garabit in de Auvergne. De hoogste pijler is bijna 70 meter hoog.

Roemenië, Algerije, Indochina en Peru. Hij bouwde een aantal spoorwegstations in Frankrijk, Spanje en Portugal; dat te Pest, Hongarije, 1877, is het meest bekend geworden. Verder maakte hij sluisdeuren, gashouders en te Bordeaux een markthal. Voor het observatorium te Nice, een ontwerp van Charles Garnier, bouwde hij in 1885 een roterende koepel met een diameter van 23 m, niet volgens de conventionele wijze op rollen, maar drijvend in een goot, waardoor hij uiterst gemakkelijk was te bewegen. Voor het Vrijheidsbeeld, door Frankrijk aan de Verenigde Staten geschonken, gebouwd naar een ontwerp van de beeldhouwer Frédéric Auguste Bartholdi, 46 m hoog, ontwierp Eiffel in 1884 het inwendige ijzerskelet, dat werd bekleed met koperplaat.

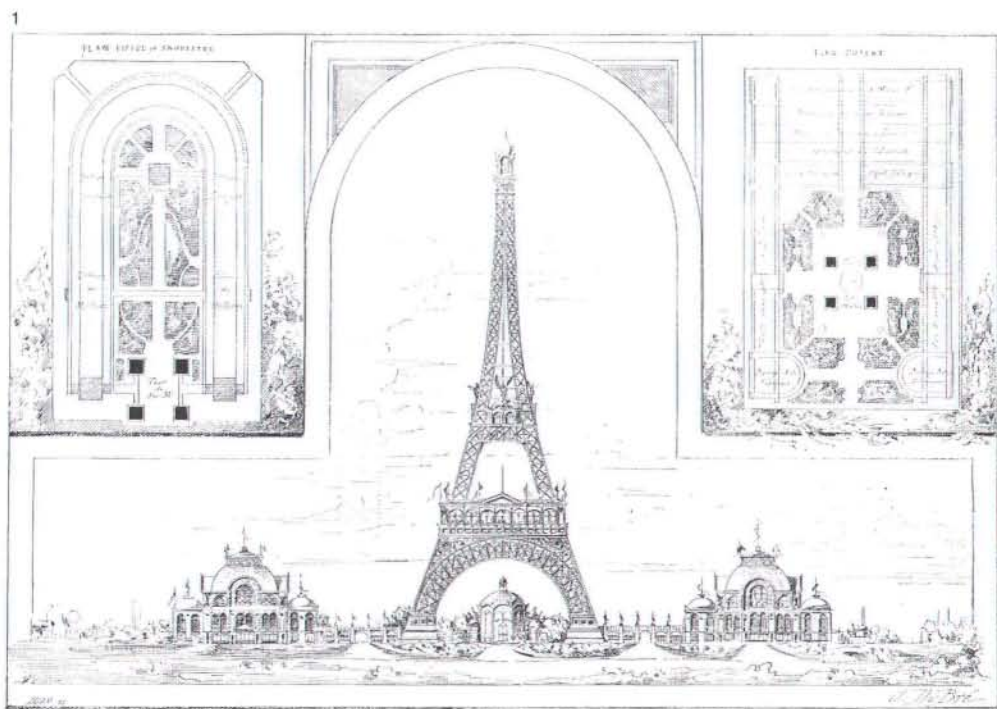
sterke lamp en paraboolspiegels geheel Parijs zou verlichten. Geen van deze plannen werd werkelijkheid.

De Parijse wereldtentoonstelling van 1889, ter herdenking van het begin van de Franse revolutie in 1789, bood echter de gelegenheid om eindelijk een 1000 voets toren te realiseren. De ideeën hiervoor kwamen uit het bureau van de ingenieur Eiffel.

In de jaren tachtig van de 19de eeuw had Eiffel in Parijs een bureau dat zich bezighield met het ontwerpen van constructies. Aan dit bureau waren de ingenieurs Emile Nouguier en Maurice Koechlin verbonden, die in 1884 het plan opvatten om een toren van 300 m hoogte te bouwen en hiertoe een ontwerp maakten (afb. 1). Voor de architectonische vormgeving, die hoofdzakelijk de decoraties, het interieur van enkele zalen en verdere aankleding inhield, hadden zij de hulp van de architect Stephen Sauvestre. Dit ontwerp leidde uiteindelijk tot een toren met een brede voet, gelegen binnen een vierkant van 115 x 115 m. De hoofdelementen van de ijzerconstructie waren vier hoekpylonen die naar de top toe naar binnen werden gebogen. Zij waren onder in de toren,



2





op twee niveaus, verbonden door hoge vakwerkliggers om het geheel de nodige stabiliteit te verlenen. Verder naar boven verenigen de pylonen zich tot één torenconstructie.

Het ontwerp

In het definitieve ontwerp hebben de vier hoekpylonen boven de funderingsvoeten elk een grondvlak van 15 x 15 m binnen een vierkant van 115 x 115 m. Zij hebben tot de eerste vloer rechte evenwijdige randen. Deze vloer ligt op een hoogte van 58 m boven het terrein, heeft een oppervlak van 71 x 71 m en bevatte een galerij en vier restaurants. Boven de eerste vloer hebben de hoekpylonen een gekromde vorm. De tweede vloer, op een hoogte van 116 m, heeft een oppervlak van 38 x 38 m en bevatte tijdens de tentoonstelling een drukkerij van de Figaro. Op de derde vloer, die zijden van 15,5 m heeft en op een hoogte van 276 m is gelegen, waren laboratoria geplaatst. Tevens bevat hij de grote liggers die de schijven van de liften dragen. Tussen de tweede en de derde vloer bevindt zich nog een vloer die onder meer de machinerie voor de liften herbergt.

3



1. Een oude 'artist impression' van de 1000 voet hoge toren. Merk op dat het deel boven de tweede vloer afwijkt van het uiteindelijke ontwerp. Op deze tekening is bij de tweede vloer een aantal engelenbeelden gepland.

2. Op deze foto zijn de grote dwarse vakwerkliggers te zien, die de vier pylonen ter hoogte van de eerste en tweede vloer verbinden. Door deze constructie is de toren bestand tegen de belasting door windkrachten. De bogen onder de eerste vloer zijn louter ter decoratie aangebracht.

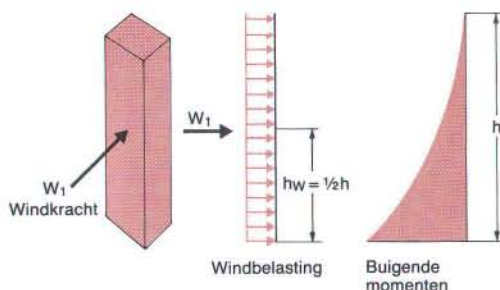
3. De aanblik van de verplichte toren tegen de avondhemel levert een prachtig sfeerbeeld op.

Windkrachten

De vorm van de toren werd vooral bepaald door zijn belasting door windkrachten. Indien een toren met een overal gelijke doorsnede door wind wordt belast zal hij doorbuigen. Deze doorbuiging zal niet alleen tot uiting komen door horizontale verplaatsingen van de onderdelen van de toren (de grootste in de top) maar zal ook krachten erin veroorzaken.

De grootte van de krachten wordt in de mechanica aangegeven door middel van zogenaamde *buigende momenten* (afb. II-1). Deze zijn het grootst aan de voet van de toren en nemen naar boven toe af tot nul in de top. Om aan de buigende momenten weerstand te bieden moet de toren in ieder geval een brede voet hebben, op dezelfde wijze als een mens wijsbeens gaat staan als er tegen hem geduwd wordt. Dit leidt tot een piramideachtige vorm (de buigende momenten worden naar boven toe kleiner, de toren kan daar dus smaller zijn). Verder kan worden opgemerkt dat de windkrachten, die hoog in de toren aangrijpen, meer bijdragen tot het buigend moment in de voet dan de lager aangrijpende windkrachten. De piramidevorm heeft daarom tevens het voordeel dat de windkrachten boven in de toren kleiner zijn, omdat hij daar smaller is en het door wind getroffen oppervlak dus kleiner.

Uit het diagram, dat het verloop van de buigende momenten aangeeft, is te zien dat dit verloop niet rechtlijnig is van top tot voet maar binnenwaarts gekromd. Opgemerkt moet worden dat de windkrachten in werkelijkheid niet, zoals in het diagram is aangenomen, over de hele hoogte van de toren gelijk zijn. In hogere luchtlagen nemen de windsnelheden



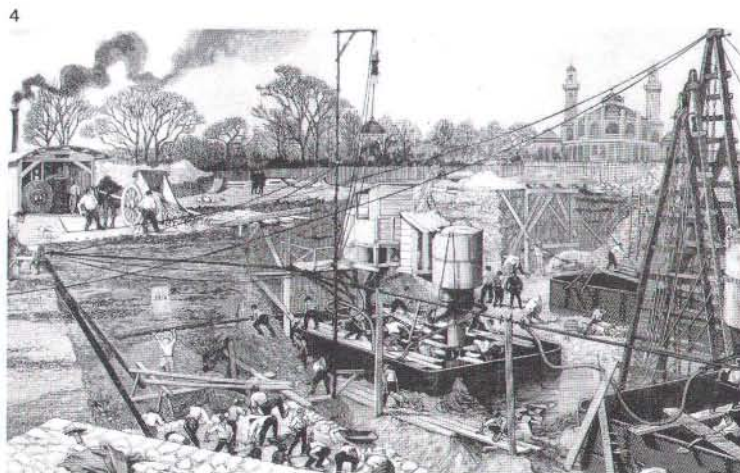
II-1

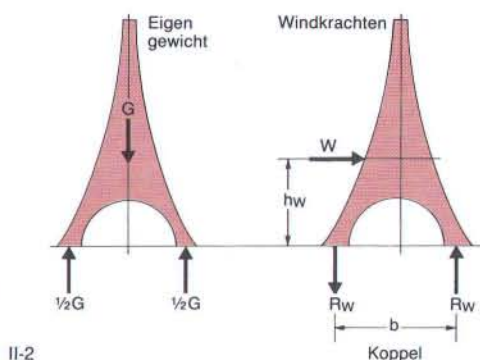
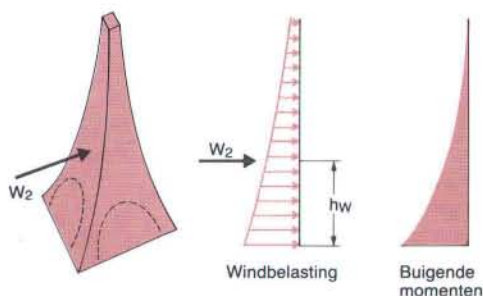
toe en daarmee ook de windkrachten. Er werden dan ook twee berekeningen gemaakt: één met een gelijke windkracht van $300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ over de hele hoogte van de toren getroffen oppervlak en een andere waarbij aan de voet van de toren een kracht van $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ werd aangenomen en aan de top een kracht van $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. De grootte van deze krachten was ruim genomen. Zulke krachten (zei een beoordelingscommissie) zouden in het Parijse klimaat nimmer voorkomen.

Naast de wind veroorzaakt ook de massa van de toren grote krachten (afb. II-2). De verticale kracht door de massa is voor iedere pyloonvoet circa $25\,000\,000 \text{ N}$, die door wind circa $900\,000 \text{ N}$. De windbelasting veroorzaakt echter aanzienlijke toegevoegde buigende momenten in de pylonen. Van

4. Op deze tekening zijn de caissons te zien die deel uitmaken van de fundering. Deze caissons zijn betonnen bakken die tot onder het grondwater in de bodem werden gebracht, waarna ze werden volgestort met beton.

5. Begin mei 1888 was de toren tot voorbij de eerste vloer gevorderd. De constructie had toen nog wel een extra steuntje nodig.





II-2

de maximale spanning in het ijzer van $90 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, die optreedt in de voet van de pylonen, komt $70 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ voor rekening van de windkrachten (opgevat als een statische belasting) en $20 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ voor rekening van het gewicht van de toren. De uitwijking van de top van de toren ten opzichte van zijn verticale as onder de maximale windbelasting werd berekend op ongeveer 1 m. De berekening was gebaseerd op eenvoudige uitgangspunten. Er werd bijvoorbeeld geen rekening gehouden met het dynamisch karakter van de windkrachten. Een windstoot kan wel zeer krachtig zijn maar is te kort van duur om de grote massa van de toren echt in beweging te brengen. Dat zou alleen het geval zijn als de frequentie van de windstoten en het eigen trillingsgetal van de toren dicht bij elkaar liggen.

II-1. De effecten van windkrachten op een blokvormige toren (links) en een toren als de Eiffeltoren. Aangenomen dat de windsterkte over de volle hoogte van de toren gelijk is, zijn de windkrachten bij de blokvormige toren even groot. Ze grijpen gemiddeld aan op de halve hoogte. De buigende mo-

menten worden naar beneden toe steeds groter. Bij een 'wijdbeens' staande toren zijn de krachten van de wind bovenin de toren aanzienlijk kleiner; ze grijpen dan ook op een lager punt aan. De buigende momenten zijn ook hier het grootst aan de voet, maar ze zijn kleiner dan bij een blokvormige toren.

II-2. Het gewicht van de toren heeft grote invloed op de krachten die erin werken. Links zien we de situatie bij windstilte; rechts wanneer het waait. De

windkrachten doen aan de voet een koppel $R_w \cdot b$ ontstaan. Zolang de krachten van dit koppel kleiner zijn dan het halve gewicht, valt de toren niet om.

5



Tenslotte staat op de derde vloer nog een lichttoren met een dakterras op 300 m hoogte. Daarboven is er nog een bliksemafleider.

Ter hoogte van de eerste en de tweede vloer zijn de hoekpylonen verbonden door hoge vakwerkliggers. Deze dragen niet alleen de vloeren maar vormen samen met de pylonen stijve portaalconstructies die onder meer bestand zijn tegen de horizontale krachten, voortkomend uit de windbelasting. De bogen onder de eerste vloer zijn louter decoratief en niet bedoeld om aan het draagvermogen bij te dragen. De doorsnede van de pylonen neemt boven de eerste vloer af van $15 \times 15 \text{ m}$ tot ongeveer $10 \times 10 \text{ m}$ bij de tweede vloer. Daarboven verenigen zij zich tot één toren.

Smeedijzer

Het is merkwaardig dat voor de toren niet het nieuwere materiaal staal werd gebruikt, maar smeedijzer, gemaakt volgens het oude puddel-ovenproces. Toch werd staal toen al veel toegepast, ook in grote constructies zoals de brug over de Firth of Forth bij Edinburgh, die in 1890 gereed kwam.

Een reden voor deze keuze zou kunnen zijn dat Eiffel, sinds hij in 1867 met het bouwen van ijzerconstructies begon, zeer met het smeedijzer vertrouwd was geraakt. In die periode werd staal slechts in kleine hoeveelheden geproduceerd, was het duur en van wisselende kwaliteit. Nog bij een voordracht in 1888 voerde Eiffel aan dat de eigenschappen van staal niet betrouwbaar zouden zijn en dat de sterkte ervan daarom niet wezenlijk groter was dan die van smeedijzer. Belangrijker is waarschijnlijk de omstandigheid dat al het ijzer, dat Eiffel voor zijn constructies gebruikte, afkomstig was van de fabrieken van Pompey in Lotharingen, waarmee Eiffel financiële bindingen had. Dit bedrijf maakte in de tijd van de bouw van de Eiffeltoren nog uitsluitend smeedijzer. Pas in 1888 werd daar voor het eerst staal geproduceerd.

Publiekstrekker

De toren is gelegen aan de zuidelijke oever van de Seine in de lengteas van het Champ de Mars. De twee pylonen, die het verst verwijderd zijn van de Seine, werden gefundeerd op een diepte van 10 m, waar voor elke pyloon vier betonplaten met een oppervlak van 6 x 10 m en een dikte van 2 m zijn gemaakt. Hierop zijn piramiden van metselwerk van natuursteenblokken opgetrokken, schuin naar binnen gericht volgens de diagonalen van het grondvlak van de toren. Voor de diepere fundering aan de Seinezijde, waar de betonplaten groter en 6 m dik zijn, is gebruik gemaakt van caissons, grote bakken die werden volgestort met beton.

Heel bijzonder aan de bouw van de toren is dat voor het verticale transport van mens en materiaal een aantal liften is geïnstalleerd. Het was voor de eerste maal dat liften in een dergelijk grootschalig project werden toegepast. Zij werden alle hydraulisch, door middel van waterdruk, bewogen. De liften hadden grote ca-

6. Op deze foto uit 1911 zien we een deel van het laboratorium dat Eiffel op 276 m hoogte inrichtte, voornamelijk voor het doen van meteorologische waarnemingen.

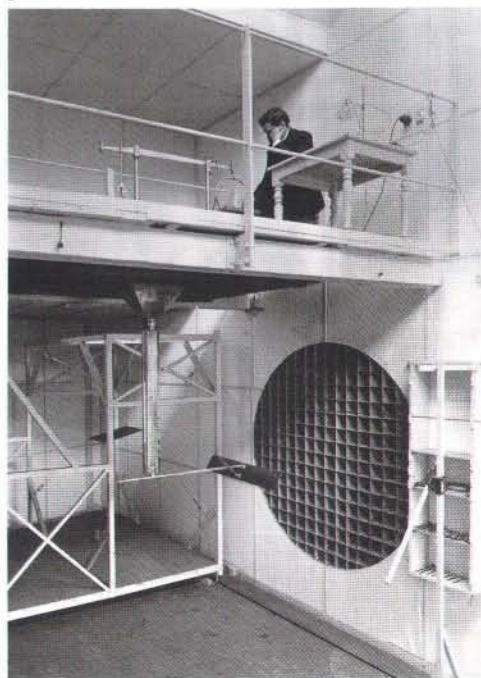
7. Een beeld van de officiële opening van de Eiffeltoren door de Franse president. Tot de eerste bezoekers behoorden de Prins van Wales en zijn familie die voor een beklimming speciaal het Kanaal waren overgestoken.

8. De spoorbrug over de Firth of Forth in Schotland kwam een jaar na de Eiffeltoren gereed. De overspanningen zijn 520 m lang.



8

6





7



bines. Zo hadden de liften voor het verkeer tussen het terrein en de eerste vloer cabines in twee etages, die honderd personen konden bevatten.

De bouw van de toren verliep voorspoedig. Na de eerste plannen in 1884 en het afsluiten van de benodigde contracten begin 1887, werd op 28 januari van dat jaar begonnen met het grondwerk. Eind juni waren de funderingen voltooid en begon men met de montage van de ijzerconstructie. Een jaar later was de tweede vloer gereed en in april 1889 was de toren voltooid.

Op 6 mei 1889 werd de wereldtentoonstelling door de president van de republiek geopend en kon de toren worden opengesteld voor het publiek. De Eiffeltoren is er een voorbeeld van dat voor zulke grote projecten in de 19e eeuw vaak zeer korte bouw tijden werden gerealiseerd.

Hoewel de toren de indruk maakt om bedoeld te zijn als het symbool van de wereldtentoonstelling van 1889 en als een publiekstrekker, waren toch ook andere functies voorzien, zoals het verrichten van astronomische en meteorologische waarnemingen. Eiffel had hoog

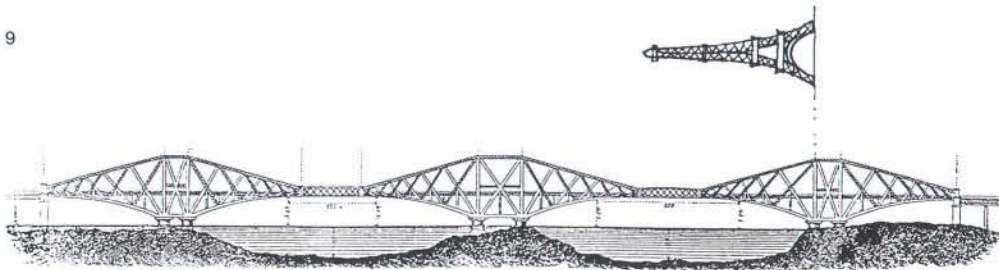
9. Als bouwkundige prestatie moet de brug over de Firth of Forth hoger worden aangeslagen dan de Eiffeltoren. De brug kan worden opgevat als aangeschakelde horizontale torens van 260 m lengte. De krachten die er op werken zijn door de zijdelingse belasting van de 'torens' veel groter dan de windkrachten op de Eiffeltoren.

10. Een foto gemaakt tijdens de bouw van de brug. Vanuit de pijlers werden uitkragende armen gebouwd, de zogenaamde *cantilevers*, die zonder ondersteunende steigers naar elkaar toegebouwd werden.



10

9



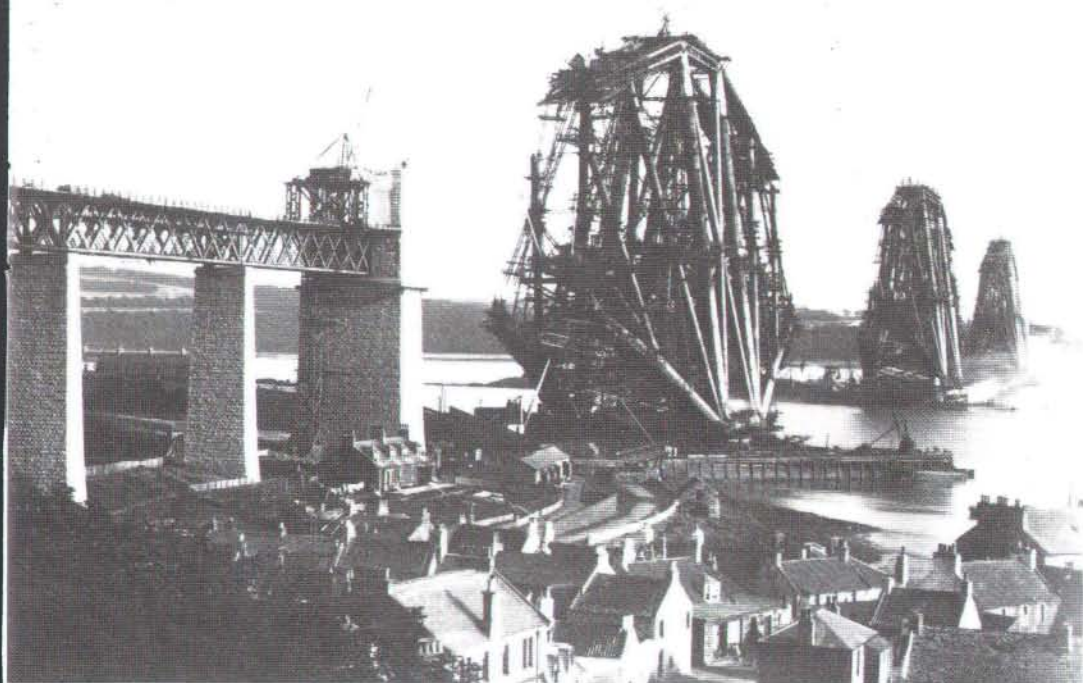
in de toren, voor eigen gebruik, een laboratorium ingericht met neerslagmeters, windwijzers, windmeters, barometers en vochtigheidsmeters (afb. 6). Zijn onderzoek daar was later van grote betekenis voor de zich ontwikkelende luchtvaart.

Hoogstandje?

Hoe hoog moet de prestatie van Eiffel en zijn medewerkers worden gewaardeerd in het kader van de stand van de bouwtechniek in die

tijd? Een vergelijking met de bouw van de spoorbrug over de Firth of Forth bij Edinburgh, van 1882 tot 1890, geeft ons hierin inzicht. Deze brug, van het *cantilevertype*, heeft hoofdovertoppingen van ongeveer 520 m (afb. 9). Deze afstand werd overbrugd door vanuit de brugpijlers uitkragende armen te bouwen (*cantilevers*), die door vrije uitbouw (dat wil zeggen zonder ondersteunende steigers in de rivier) naar elkaar toe werden gebracht.

Als technische prestatie moet deze brug wezenlijk hoger worden aangeslagen dan de



bouw van de Eiffeltoren. In feite hebben we hier te maken met horizontaal gebouwde 'torens' van 260 m lengte. De zijdelingse belasting van deze torens, door het gewicht van de kraagarmen en van de treinen, is aanzienlijk groter dan de windbelasting op de Eiffeltoren. Voorts levert het horizontaal uitbouwen boven een rivier meer technische problemen op dan het verticaal bouwen boven een normale bouwplaats. Zonder risico's is het bouwen van cantileverbruggen dan ook niet, getuige het instorten, tijdens de montage, van een dergelijke brug over de St. Lawrence River bij Quebec in Canada in 1907.

Dat de toren van Eiffel niettemin meer aandacht heeft getrokken dan de Forth-brug heeft ongetwijfeld te maken met zijn dominerende aanwezigheid in het centrum van Parijs en het erdoor opgeroepen beeld van geavanceerde technologie, waarmee hij nog steeds een symbool is van de *Belle Epoque*, die wonderbaarlijke tijd rond de eeuwwisseling, vol van verbeeldingskracht, ondernemingslust en grote gebaren.

Literatuur

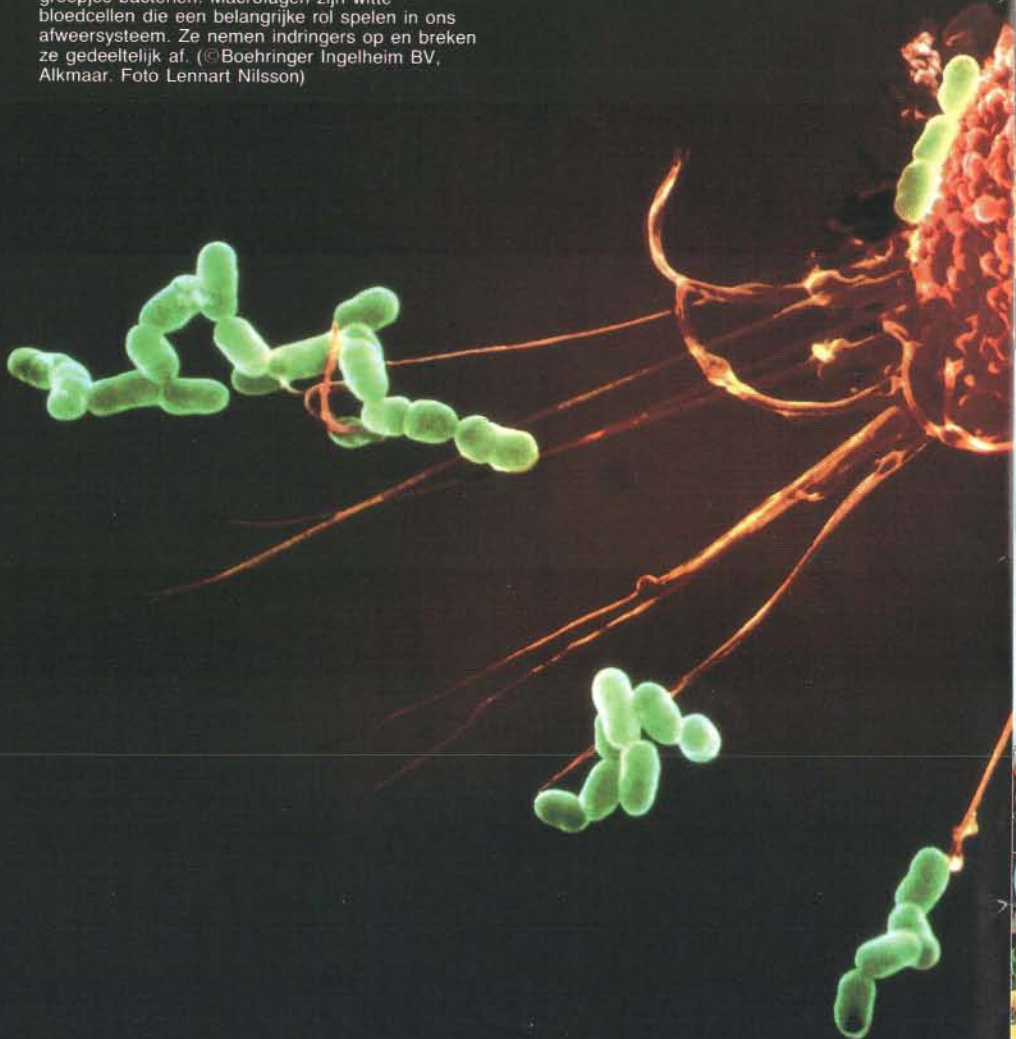
- Alphand A. Exposition Universelle Internationale de 1889 à Paris. Tome Second. Paris: 1892-1895.
 France-Lanord A. Gustave Eiffel et son oeuvre. In: Eisen Architektur. Die Rolle des Eisens in der historischen Architektur der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Mainz: 1982.
 Lemoine B. Gustave Eiffel. Paris: 1984.
 Loyrette H. Eiffel. Un ingénieur et son oeuvre. Paris: 1985.

Bronvermelding illustraties

- Sunshine Photo-agency, Almere: pag. 254-255, 2, 3
 Roger-Violet, Parijs: I-1, 1, 5, 6
 Explorer, Parijs: I-2
 Mary Evans Picture Library, London: 4, 7, 10
 The Ancient Arts and Archeology Collection, Harrow-on-the-Hill: 8

ONTSTEKING

Een macrofaag strekt zijn pseudopodiën naar groepjes bacteriën. Macrofagen zijn witte bloedcellen die een belangrijke rol spelen in ons afweersysteem. Ze nemen indringers op en breken ze gedeeltelijk af. (© Boehringer Ingelheim BV, Alkmaar. Foto Lennart Nilsson)



A. Billiau
Rega Instituut
Faculteit Geneeskunde
Universiteit Leuven



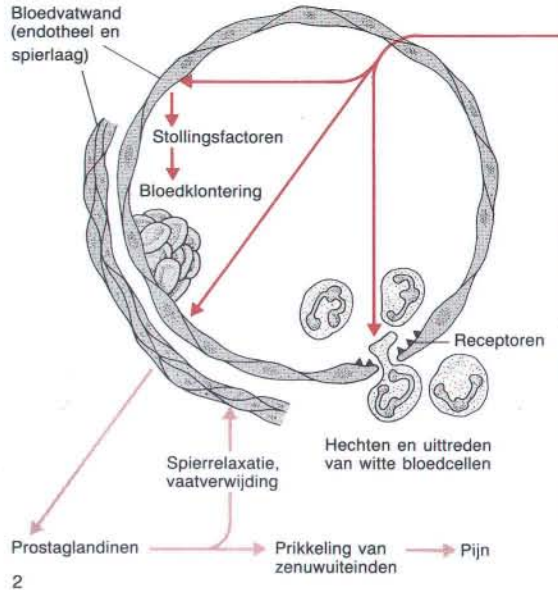
INTERLEUKINE ALS **JANUSKOP**

Als je een schram, snee of insektenbeet hebt opgelopen kleurt je huid snel rood en zwelt. Het omliggende weefsel wordt warm en je voelt vaak pijn. Het is het begin van een ontsteking. Hoewel die alleen zichtbaar is als ze optreedt in de huid of vlak daaronder, kunnen alle lichaamsdelen ontstoken raken.

Artsen en onderzoekers vragen zich al lang af hoe het komt dat zoveel verschillende prikkels tot eenzelfde soort ontstekingsreactie leiden. Verder rijst de vraag of een voor de patiënt zo onaangename reactie altijd even nuttig is voor herstel van het lichaam. De hoofdacteurs op het toneel van de ontstekingsreactie zijn de witte bloedcellen, die binnendringers als bacteriën en virussen bestrijden. Er bestaan verschillende soorten witte bloedcellen, elk met een eigen opdracht en een eigen plaats in een ingewikkeld regelsysteem. Daarin zijn enkele door de witte bloedcellen uitgescheiden zogenaamde inflammatoire mediators erg belangrijk als boodschappermolekulen. Dit artikel behandelt vooral de rol van één soort boodschappers: de cytokinen, waartoe interleukine-1, interleukine-2 en gamma-interferon behoren.

De warmte en de roodheid rond een zichtbare ontsteking brachten geneeskundigen uit de Egyptische tijd in verband met vuur (afb. 1). Uit het oude Rome stamt de benaming *inflammatio*: het Latijnse *flamma* betekent *vlam* of *vuur*; onze Nederlandse termen *ontsteking* en *ontstekingshaard* roepen hetzelfde beeld op. De 'ouden' associeerden de waarneembare warmte en roodheid trouwens niet alleen met het element 'vuur', maar ook met de hel, met duivels en met kwade geesten, die de mens kwelden als straf voor bedreven zonden.

Veel van deze oude opvattingen hebben lang standgehouden. In de loop van de negentiende eeuw ging men de zaken echter wat nuchterder bekijken. Louis Pasteur ontdekte dat binnendringende micro-organismen ontstekingen veroorzaken. Later vond Elie Metchnikoff, ook werkzaam aan het Parijse Institut Pasteur, dat complexere levende wezens speciale cellen bezitten die over het merkwaardige vermogen beschikken zich te kunnen verplaatsen in de richting van een binnengedrongen micro-organisme. Ze kunnen de binnendringer in zich opnemen en hem tenslotte verteren. We noemen die bezigheid *fagocytose*. Deze merkwaardige cellen, *fagocyten*, staan ook heden ten dage nog volop in de belangstelling. Het is namelijk inmiddels duidelijk geworden dat sommige onder hen niet alleen de rol van fagocyt, dat wil zeggen van verteeder en opruimer spelen,

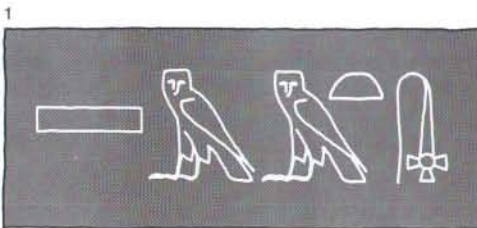


2

doch ook zelf de ontstekingsreactie veroorzaken. Hoe ze deze laatste rol precies vervullen is een geheim dat ze slechts in de laatste jaren en maanden hebben willen prijsgeven.

Bij mens en dier vindt men verschillende soorten fagocyten, elk gespecialiseerd in het uitvoeren van één bepaalde opdracht. Sommige fagocytensoorten zwerven vrij rond in bloed en weefsels: dit is het geval met de zogenaamde *granulocyten* (gekorrelde cellen) en de *macrofagen* (grote eters). Andere fagocyten zijn niet mobiel en maken deel uit van de structuur van de organen, waar ze niet alleen indringers oppakken, maar ook andere functies vervullen. Een aparte positie nemen de *endotheelcellen* in. Zij vormen de binnenste cellaag van bloedvatwanden en hebben daar ondermeer ook, hoewel het geen fagocyten zijn, een functie in het opsporen en verteren van lichaamsvreemde stoffen in het bloed.

Granulocyten zijn gespecialiseerd in het volledig verteren van de opgenomen deeltjes. Macrofagen en endotheelcellen hebben daarentegen als belangrijkste opdracht de opgenomen deeltjes of vreemde stoffen slechts gedeeltelijk af te breken en ze in afzonderlijke stukken uit hun celmembraan naar buiten te laten steken. Dan pas kan het immuunstelsel deze stoffen als lichaamsvreemd, als een *antigeen*, herkennen en er afweerstoffen tegen maken. Men

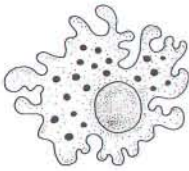


sh - m - m - t

1. Ontsteking is een heel oud zeer. De Smith Papyrus, een document geschreven rond 1650 voor Christus, en waarschijnlijk overgeschreven van een origineel dat nog 1000 jaar ouder is, bevat het woord dat ontsteking betekent:

'she-he-me-met'. Het uiterst rechtse teken is niet als klank te lezen; het is een determinatief. Het beeldt een vlammen rooster, met opstijgende en terug neerbuijgende rook en wijst op een heet voorwerp.

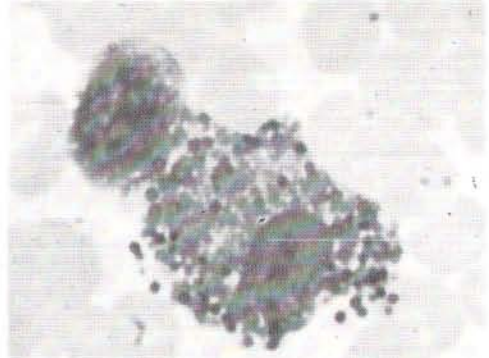
Interleukine-1



Weefselmacrofaag

2. Van alle cytokinen is interleukine-1 de belangrijkste inflammatoire mediator. Veel verschillende celtypen kunnen de stof maken, maar geactiveerde macrofagen produceren er het meest. Interleukine-1 heeft vele uitwerkingen.

Op de tekening zijn er drie aangeduid die tot ontstekingsreacties aanleiding geven. Endotheelcellen die de binnenbekleding van de bloedvatwand uitmaken, produceren na contact met interleukine-1 stollingsfactoren, waardoor er kleine bloedstolsels in de bloedvaten ontstaan. Daarnaast maken ze prostaglandinen, waardoor de spiervezels rond de bloedvatwand verslappen. Het gevolg daarvan is vaatverwijding. Prostaglandinen verwekken ook pijn. Als derde reactie op interleukine-1 steken de endotheelcellen receptoren voor witte bloedcellen uit hun buitenmembranen, waardoor deze aan de binnenzijde van de vaatwand kleven en dringen erdoor heen in de richting van de ontstekingshaard.



3

3. Een granulocyt, gekleurd met eosine, waarin en waaromheen duidelijk de afzonderlijke korrels zijn te zien. Granulocyten zijn gespecialiseerde fagocyten die indringers volledig verteren, dit in tegenstelling tot macrofagen die

hun prooi slechts gedeeltelijk afbreken. (uit: Pietschmann, den Ottolander. Hematologie. ©Boehringer Ingelheim BV, Alkmaar, 1984)

noemt men deze cellen daarom ook wel *antigen presenting cells*. Macrofagen en endotheelcellen zullen we verder samen aanduiden als *AP-cellen*. Zij liggen zeer strategisch, respectievelijk in de weefsels en als bekleding van de bloedvatwanden, om vreemde indringers in de kraag te kunnen vatten. De rol van de AP-cellen is daarmee echter bij lange na niet uitgespeeld. Wanneer ze indringers insluiten, scheiden ze stoffen af die een ontstekingsreactie op gang brengen. Dergelijke stoffen, die door lichaamscellen worden geproduceerd, noemt men met een algemene term *inflammatoire mediators*. Er bestaan verschillende families van deze mediators, maar onze aandacht gaat vooral uit naar de laatst ontdekte categorie, die van de *cytokinen*.

Interleukine-1

Cytokinen zijn eiwitmolekulen met een moleculgewicht van ongeveer 15 000 D; ze zijn opgebouwd uit 75 tot 150 aminozuren en hebben invloed op cellen die op hun buitenmembranen *receptoren* bezitten waaraan de cytokinen kunnen binden. Receptoren zijn speciale eiwitmolekulen in de celmembranen die, zodra het passende boodschappermolekuul eraan gebonden is, de cel een signaal geven om bepaalde opdrachten uit te voeren. Welke opdracht

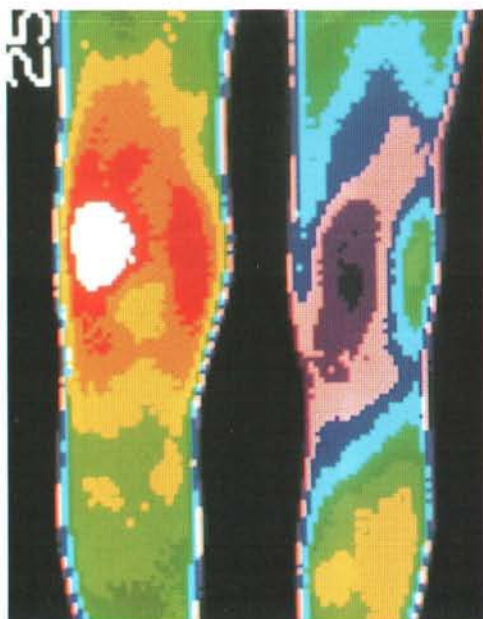
dat is, hangt af van de functie van het receptormolekuul in het regelmechanisme van de cel. Cytokinen kunnen cellen aanzetten tot deling, tot uitscheiding van bepaalde verbindingen, tot verplaatsing of tot specialisatie. De werking van cytokinen blijft hoofdzakelijk beperkt tot de onmiddellijke omgeving van de producerende cel. Deze eigenschap onderscheidt de cytokinen van eiwitten met een hormoonfunctie, zoals insuline, die altijd eerst via de bloedbaan worden getransporteerd en waarvan de werking zich in hoofdzaak op een zekere afstand van de producerende cel laat voelen.

In de afgelopen tien jaar is aan het licht gekomen dat de AP-cellen bijzonder actieve producenten zijn van bepaalde cytokinen. In rusttoestand is de productie nul of minimaal. Contact met bepaalde stoffen of fagocytose brengt de productie op gang: het cytokine dat dan wordt geproduceerd, draagt de naam *interleukine-1*. Met het produceren van dit cytokine vestigt de AP-cel de aandacht van de omgeving op de gesignaleerde indringer die door het immuunsysteem verder moet worden opgeruimd. De AP-cel is als een marktkoopman die met geur, kleur en geluid zijn uitgestalde koopwaar aanprijst.

Het resultaat van de uitscheiding van deze inflammatoire mediator is bijzonder spectaculair: de cellen in de buurt reageren in alle he-

4. De plaats en graad van ontsteking bepaalt men vaak op basis van warmteproductie. De thermografie is een moderne methode om ontsteking van een

lidmaat (hier de knie) weer te geven. De knie met witte en rode zone is ontstoken. (Foto: prof J. Dequeker, Afd. Rheumatologie, KU Leuven)



4

ligheid. De effecten zijn te talrijk om ze alle hier te bespreken. We gaan slechts in op de effecten die aanleiding geven tot de ontstekingsreactie (afb. 2).

Januskoppen

Onder invloed van interleukine-1 reageren de reeds geactiveerde endotheelcellen van de bloedvatwanden met de produktie van bloedstollingsfactoren: hierdoor kunnen er kleine bloedklonters ontstaan in bloedvaatjes in de onmiddellijke omgeving. De bloedklonters bevatten onder meer bloedplaatjes die op hun beurt andere mediators, de *histaminen* uitscheiden. Deze veroorzaken het uitzetten van de bloedvaten, waardoor plaatselijk roodheid en lokale zwellingen ontstaan. De histaminen verhogen ook de waterdoorlaatbaarheid van de bloedvatwand. Er sijpelt dan vocht uit de bloedbaan, zodat het ontstoken weefsel opzwellt.



5

5. Eén van de hevigste ontstekingen is het Waterhouse-Friderichsen-syndroom dat soms optreedt bij infecties met bepaalde bacteriën. Over het ganse lichaam worden de kleine bloedvaten aangetast door

vorming van kleine bloedstolsels. Tegelijkertijd kan zich een dramatische en dodelijke bloeddrukdaling voordoen. (Foto: J. Verwijlen, Centrum Trombose en Vasculair Onderzoek, KU Leuven)

6 en 7. De mouse footpad test is een klassieke methode om ontstekingsreacties te bestuderen. Bij de muis (6) is de rechtervoet zool ingespoten met een bacterie-extract. Er ontstaat dan in de loop van enkele dagen een zwelingsreactie die met een eenvoudig meetinstrument kan worden gevolgd. Als de muis vooraf antistoffen tegen gamma-inter-

feron geïnjecteerd krijgt, ontstaat geen of slechts een minieme voetzoolzwelling. In de poot (7) is een ontsteking te zien waarbij bloed en cellen een klein bloedvat verstoppen. Rond het bloedvat zijn als donkere stippen talloze macrofagen zichtbaar (Foto's: dr H. Heremans (6) en dr H. Sobis (7). Afd. Microbiologie, KU Leuven.)

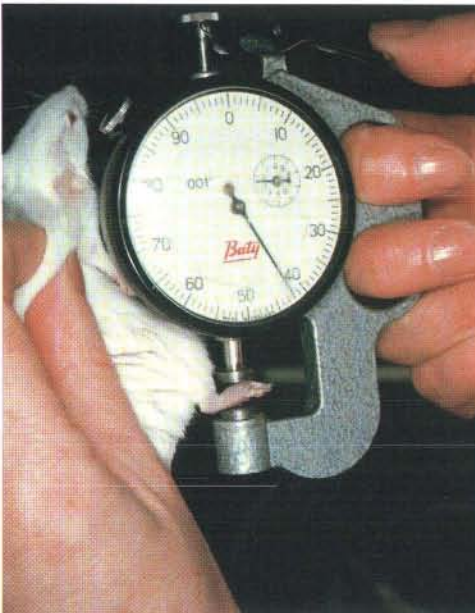
Een ander effect van interleukine-1 op de endotheelcellen is dat ze receptoren voor granulocyten gaan maken. De endotheelcellen steken die receptoren uit hun buitenmembraan, waardoor er granulocyten uit het langsstromende bloed aan binden. Vervolgens kruipen ze door de immers ter plaatse doorlaatbaar geworden vaatwand naar buiten en eten daar de ziekteverwekkers op. Granulocyten zijn zeer talrijk in het bloed; rond een ontsteking kunnen ze zich zo ophopen, dat ze tot etter samen-vloeien.

Vaatverwijding (roodheid) en pijn komen ook tot stand doordat interleukine-1 de productie uitlokt van *prostaglandinen*. Dit zijn, naast cytokinen en histaminen, eveneens inflammatoire mediators. In vergelijking met cytokinen zijn het kleine molekulen waarvan reeds langer bekend is dat ze in ontstekingsreacties een belangrijke rol spelen. Aspirine onderdrukt overigens de vorming van prostaglandinen, wat verklaart dat aspirine pijn onderdrukt en remmend werkt op ontstekingsreacties.

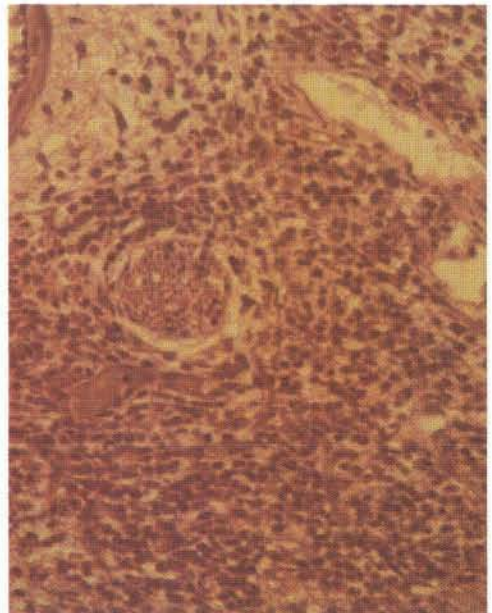
Een merkwaardige eigenschap van cytokinen is dat ze in de ontstekingshaard op elkaar kunnen reageren, zodat een lokaal cytokinecommunicatienetwerk tot stand komt (afb. 8).

Interleukine-1, geproduceerd door de AP-cellen, staat centraal in dit netwerk. Interleukine-1 brengt in zogenaamde *T-lymfocyten* de productie van interleukine-2 op gang. T-lymfocyten zijn overigens een categorie witte bloedcellen die de werking controleert van weer een andere soort, de *B-lymfocyten* waarin de *antilichamen* of *immunoglobulinen* worden gemaakt die lichaamsvreemde stoffen herkennen. Het geproduceerde interleukine-2 heeft echter vooral invloed op T-lymfocyten die al geactiveerd zijn door interleukine-1. Nadat interleukine-2 op de receptoren van de geactiveerde T-lymfocyten is gebonden, produceren die cellen *gamma-interferon*. Het merkwaardige is nu dat gamma-interferon de AP-cellen weer activeert om nog meer interleukine-1 te produceren, alsook *tumor necrosis factor* (TNF), een ander cytokine met ongeveer dezelfde werking als interleukine-1. Zodra interleukine-2 is gevormd, ontstaat dus op de plaats van de ontsteking een positieve terugkoppeling die tot gevolg heeft dat de ontstekingsreactie steeds heviger wordt. Dit zou, zonder een ingebouwde controle, kunnen leiden tot het fataal ontstoken raken van heel het lichaam. Iets dergelijks is trouwens bekend bij infecties met bepaalde bacteriën. Kinderen die

6



7

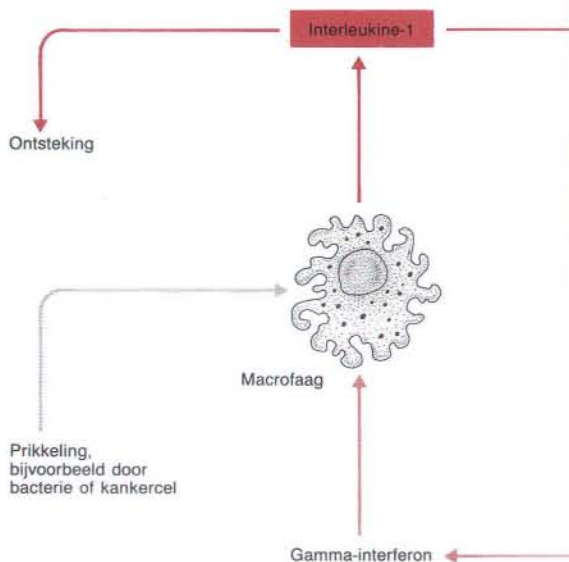


lijden aan hersenvliesontsteking door infectie met meningokokken vertonen soms plots overal optredende bloedstolsels in de kleine bloedvaten. Dit Waterhouse-Friderichsensyndroom (afb. 5) wordt dikwijls gevolgd door een fatale bloeddrukdaling en shock.

Ergens in het lichaam moet dus nog een controle plaatsvinden die ervoor zorgt dat de ontstekingsreactie ook weer wordt onderdrukt. Anders zou zelfs het kleinste wondje al snel tot een ontsteking met fatale afloop leiden. Er zijn vermoedens dat er vanuit de ontstekingshaard signalen naar de *hypofyse* gaan. Deze hersenklier, die het hormoonstelsel controleert, zou op haar beurt de *bijnier* aanzetten tot de productie van het hormoon *cortison*. Cortison is een bekende ontstekingsremmer, die ook al als geneesmiddel wordt toegepast. Het is echter nog de vraag hoe de communicatie tussen ontstekingshaard en hypofyse verloopt. Waarnemingen in ons laboratorium en in dat van andere onderzoekers wijzen erop dat het de cytokinen zelf zijn die deze verbinding tot stand kunnen brengen (zie intermezzo 1). Zo werd aangetoond dat interleukine-1 de hypofysecellen stimuleert tot vorming van corticotropine, een hormoon dat op zijn beurt de *bijnierschors* aanzet tot productie van cortison. Ook vonden wij dat het toedienen, via de bloedsomloop, van hoge doses gamma-interferon bij muizen zowel plaatselijke als algemene ontstekingsreacties kan onderdrukken. Men kan cytokinen dus beschouwen als januskoppen: enerzijds stoken ze lokaal de ontstekingshaard op, maar zodra ze in de bloedsomloop komen blussen ze het vuur via de hypofyse en de *bijnier*.

Cytokinen als geneesmiddel

Uit het voorgaande blijkt dat ontstekingsreacties, alhoewel bedoeld om indringers te bestrijden, soms kwalijke gevolgen hebben. De reeds genoemde mogelijkheid van het optreden van een shock bij sommige infecties is een extreem en gelukkig zeldzaam voorbeeld. Talrijk zijn echter de voorbeelden van minder uitgesproken, slepende of steeds weerkerende acute ontstekingsreacties, zoals in het geval van reumatische gewrichtsontsteking of multiple sclerose. Men kan zich de vraag stellen of hetgeen we nu weten over de rol van cytokinen ons zou kunnen helpen om bij deze ziekten enig soelaas



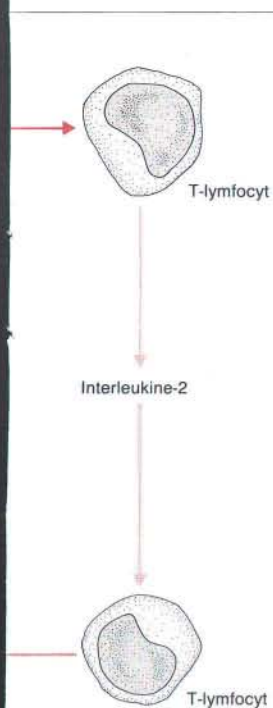
8

8. De productie van interleukine-1 komt tot stand als gevolg van een uitwendige prikkel op een macrofaag. De productie wordt aanmerkelijk verhoogd als de macrofaag is geactiveerd door het cytokine

gamma-interferon, afkomstig van een T-lymfocyt. De productie van gamma-interferon wordt op haar beurt gestimuleerd door een ander cytokine, het interleukine-2, waarvan de productie op gang komt

te bieden, of misschien zelfs genezing te brengen. Geneesmiddelen op basis van cytokinen zouden voor bepaalde gevallen zeer welkom zijn.

Voor hierop een antwoord te geven, is het goed eerst te kijken welke effectieve behandelingen van ontstekingsziekten momenteel in de geneeskunde bestaan. Cytokinen zijn namelijk niet de enige veroorzakers of mediators van ontstekingsreacties. We noemden ook al de prostaglandinen en merkten daarbij op dat stoffen, die de productie van prostaglandinen remmen, nuttig gebleken zijn tegen tal van reumatische aandoeningen. Een andere soort inflammatoire mediators zijn de histamine-achtige stoffen. Deze spelen vooral een rol bij allergische ontstekingsreacties zoals hooi-



door interleukine-1. De drie genoemde cytokinen vormen dus een vicieuze cirkel. Zonder remmende werking van buiten zou deze helse kringloop tot onbeperkte ontsteking moeten leiden.

koorts. De werking van histaminen kan belet worden door het toedienen van stoffen die zich op de celreceptoren voor histaminen binden en deze blokkeren. Deze zogenaamde *antihistaminica* zijn uiterst populair in de geneeskunde: iedere huisapotheek bevat er één of meer in de vorm van hoestsiroop, anti-jeukzalf of anti-reiziekt pillen.

We zagen ook dat er waarschijnlijk een soort ingebouwde controle op de ontstekingsreactie bestaat, onder andere uitgevoerd door het door de bijnierschors uitgescheiden cortisol. Deze veronderstelling vloeit voort uit de waarneming dat tal van ontstekingsreacties, waaronder vooral reumatische gewrichtsontstekingen, na het toedienen van cortisol minder heftig worden.



9

9. Een macrofaag in een huidbiopsie van de mens. In de celvloeistof bevinden zich vele celblaasjes (vacuolen, tweemaal met pijltjes aangeduid) met door de macrofaag opgenomen donkergekleurde melani-

nekorrels. Melanine is de kleurstof die de huid 's zomers bruin kleurt. De celmembraan van de macrofaag vertoont talloze in- en uitstulpingen. Op deze elektronenmicroscopische opname is de macrofaag

28750 maal vergroot weergegeven. (Foto: dr R. Devos. Afd. Histochemie en Cytochemie, KU Leuven.)

Aspirine-achtige stoffen, die de productie van prostaglandinen remmen, antihistaminica en cortisol zijn dus op dit ogenblik onze belangrijkste wapens tegen acute ontstekingen.

Zal onze kennis over de cytokinen daar iets aan toevoegen? We zagen al dat cytokinen janskoppen zijn. Ook in de therapie zouden we ze dus op twee manieren kunnen gebruiken. Op de plaats van de ontsteking zouden ze die kunnen versterken; het toedienen via de bloedsomloop zou daarentegen een ontstekingsremmend effect kunnen hebben. Dit is inderdaad waargenomen zowel bij proeven op dieren als tijdens klinisch onderzoek bij de mens. Zo hebben onderzoekers in Duitsland bij reumapatiënten gunstige resultaten verkregen door het toedienen van gamma-interferon.

Lokaal zouden we ontstekingen kunnen stoppen door een stof toe te passen die de werking van gamma-interferon tegengaat. Daartoe werden monoklonale antilichamen (intermezzo II) tegen het gamma-interferon ontwikkeld. Muizen die met monoklonale antilichamen tegen gamma-interferon werden behandeld bleken daarna resistent tegen het opwekken van diverse ontstekingsreacties.

Een andere mogelijkheid bestaat erin om helemaal van het gebruik van tegen gamma-interferon gerichte monoklonale antilichamen af te zien en op zoek te gaan naar natuurlijk voorkomende of scheikundig te synthetiseren stoffen met een antagonistische werking. Deze benaderingswijze is zo beloftevol dat moleculair biologen thans op verscheidene plaatsen in de wereld koortsachtig werken aan het gene-

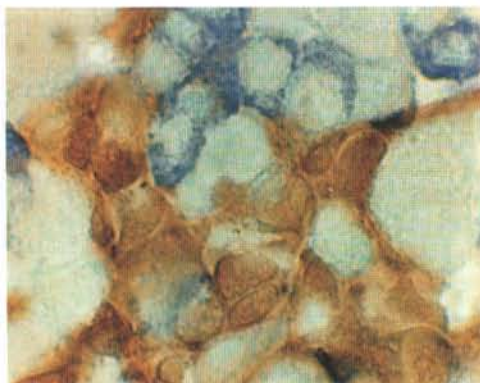
De rol van de hypofyse in ontstekingsreacties

De ontstekingsreactie is één van de activiteiten van het immuunstelsel, een stelsel gericht op de bestrijding en eliminatie van lichaamsvreemde of schadelijke elementen, zoals bacteriën, virussen en kankercellen. Het behoorlijk functioneren van dit stelsel vereist een accurate en soepele communicatie tussen de deelnemende, al of niet mobiele cellen. De boodschappers zijn de cytokinen, zoals interleukine-1, interleukine-2 en gamma-interferon.

Dieren beschikken naast het immuunstelsel over twee andere systemen die gericht zijn op het behoud van het lichaam en waarvan de functie berust op een subtiel communicatienetwerk: het zenuwstelsel en het hormoonstelsel. In het zenuwstelsel vindt de communicatie plaats langs lange uitlopers van de zenuwcellen. In het hormoonstelsel verloopt de communicatie door bemiddeling van hormonen — dat zijn moleculen die in het bloed worden gebracht en specifieke boodschappen overbrengen naar organen die op afstand van de bron gelegen zijn.

In het laatste decennium is men tot het inzicht gekomen dat het immuunstelsel, het zenuwstelsel en het hormoonstelsel niet onafhankelijk van elkaar functioneren. Gebeurtenissen in het immuunstelsel, zoals de ontstekingsreacties die we in dit artikel bespreken, beïnvloeden het zenuwstelsel en de functie van de hormoonklieren. Omgekeerd beïnvloeden zenuwstelsel en hormoonstelsel het immuunstelsel.

In de interactie tussen de drie stelsels neemt de hypofyse een belangrijke plaats in (afb. 1-2). Dit kleine hersenaanhangsel controleert door afscheiding van diverse hormonen alle andere hormoonklieren (bijniëren, geslachtsklieren, schildklier en pancreas). Tevens stimuleert zij lichaamsgroei en de ontwikkeling van organen. Voor het vervullen van deze immense taak ontvangt zij signalen, in de vorm van stoffen uit de hersenen, meer bepaald uit een deel dat men de *hypothalamus* noemt. De hersensignalen arriveren in de vorm van neuropeptiden, eiwitten die zijn opgebouwd uit 3 tot 44 aminozuren of uit aminen. Verschillende van deze stoffen kunnen de hypo-



I-1

I-1. De hypofyse heeft voor ieder hormoon aparte productiecellen. Daarnaast zijn er verspreide FS- of folliculostellate cellen (bruin aangekleurd op de foto), die met hun lange uitlopers de hormoonafscheidende cellen omringen. Deze nog mysterieuze FS-cellen zijn het voorwerp van intens onderzoek. Waarschijnlijk produceren zij cytokine-achtige stoffen waarmee de hypofyse intern wordt geregeld. (Foto: W. Allaert, Afd. Farmacologie, KU Leuven)

I-2. De bijnierschors hormonen (corticosteroiden) onderdrukken ontstekingsreacties. De afscheiding van deze hormonen wordt op gang gebracht door corticotropine uit de hypofyse; de vorming van dit hormoon wordt op haar beurt bevorderd door ondermeer CRF (corticotropin releasing factor) uit de hypothalamus. Dit deel van de hersenen produceert CRF onder invloed van interleukine-1 uit een ontstekingshaard. De hypothalamus wordt ook beïnvloed door de hersenschors en andere hersendelen. Hierdoor bestaat er mogelijk een weg waarlangs verstandelijke activiteiten en emotionele situaties invloed op het immuunstelsel uitoefenen.

tisch manipuleren van de genen voor cytokinen, met het doel veranderde cytokinen te maken die wellicht als ontstekingsremmers dienst kunnen doen. Veel aandacht gaat ook uit naar het isoleren en bestuderen van de receptoren voor gammainterferon en andere cytokinen. Deze receptoren zijn eiwitmolekulen die in de celmembranen zitten. Zij zijn het die de cytokinen toelaten hun invloed uit te oefenen op de

cellen. Het ophelderen van de structuur van deze receptoren kan op verschillende manieren tot geneeskundige toepassingen leiden. Zo wil men de receptoren kunstmatig bereiden om hen, los van membranen, toe te kunnen dienen bij ontstekingsziekten. De losse receptormolekulen zouden dan de cytokinen al kunnen binden voor deze zich aan de receptoren van de cellen kunnen koppelen. Het meest aantrekke-

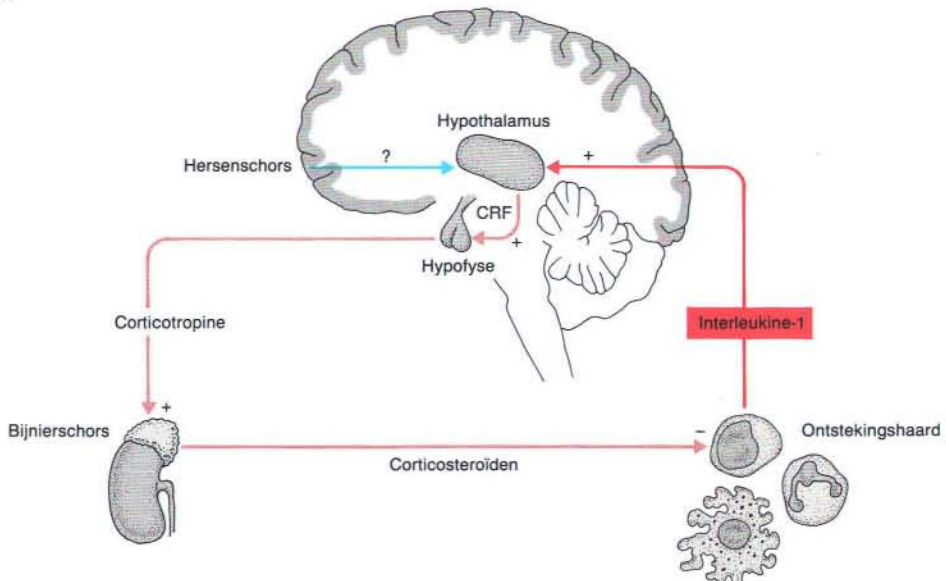
INTERMEZZO I

fyse aanzetten om één enkel hormoon af te scheiden. Zo is de secretie van corticotropine stimuleerbaar door CRF (corticotropin releasing factor), vasopressine, angiotensine, VIP (vasoactive intestinal peptide), adrenaline en serotonine.

Het is bekend dat interleukine-1, afkomstig uit een ontstekingshaard, inwerkt op de hypothalamus. Koorts is het gevolg, een verschijnsel dat bijna iedere ontstekingsreactie begeleidt. Onder invloed van interleukine-1 zendt de hypothalamus ook signalen naar de hypofyse, ondermeer de corticotropin releasing factor (CRF). Hierdoor worden indirect andere hormoonklieren gestimuleerd: CRF stimuleert de bijnierschors tot aanmaak van corticosteroiden. Deze laatste oefenen een remmende werking uit op de

ontstekingsreactie. We kunnen dus vaststellen dat interleukine-1 op het lokale vlak de ontstekingsreactie bevordert, terwijl het via zijn effect op de hypofyse een overdreven ontstekingsreactie afremt. De werking van de hypofyse wordt echter niet alleen geregeld door signalen die zij van andere organen ontvangt. Onderzoek in het laboratorium van C. Deneef aan de KU Leuven, heeft uitgewezen dat de klier beschikt over een eigen regelmechanisme dat de inkomende signalen bewerkt. Dit regelproces berust blijkbaar op cytokine-achtige stoffen, geproduceerd door cellen in de hypofyse zelf. Welke cellen dit zijn is voorlopig niet duidelijk. Het onderzoek wijst erop dat de folliculo-stellate (FS) cel (zie afb. 1-1) zeker een voorname rol speelt.

I-2



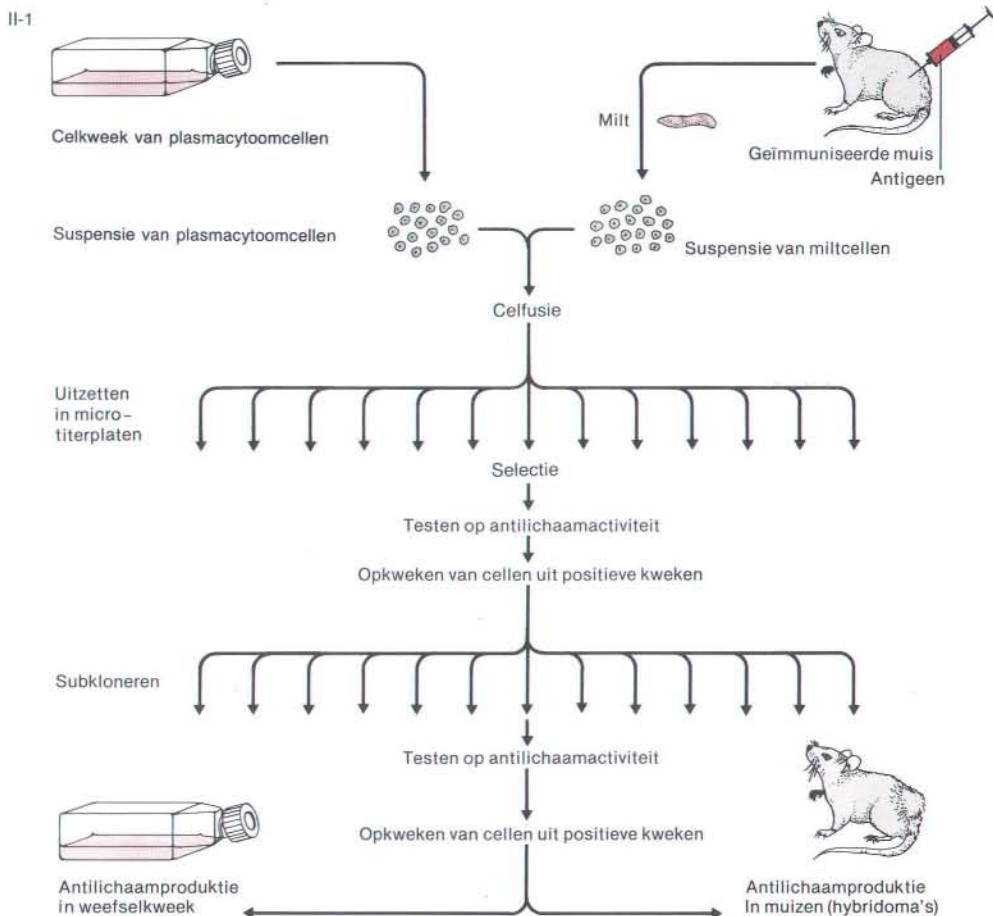
Monoklonale antilichamen

INTERMEZZO I

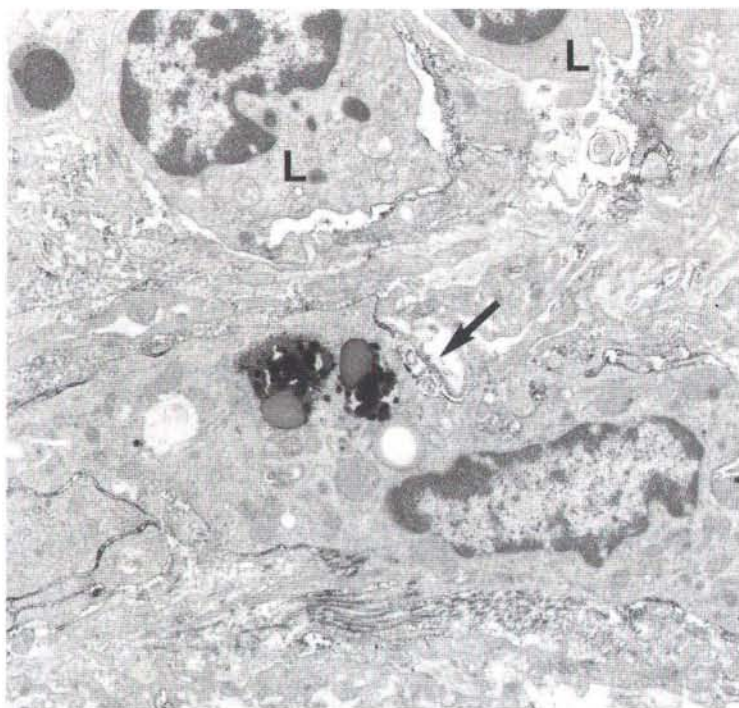
Een monoklaal antilichaampreparaat bestaat uit slechts één actieve stof en werkt zeer selectief tegen één antigeen; een normaal antilichaampreparaat bevat meerdere verbindingen die tegen hetzelfde antigeen actief zijn, of zelfs ook op andere antigenen reageren. Monoklonale antilichamen zijn dus veel doelgerichter en geven een onderzoeker ook eenduidiger resultaten wanneer hij immunologische experimenten uitvoert.

Hierbij dient opgemerkt dat het toedienen aan mensen van monoklonale antistoffen van dierlijke oorsprong op moeilijkheden stuit. Ze worden gewoonlijk uit muizen gewonnen. Na toediening bij mensen zouden ze als lichaamsvreemd worden herkend. Helaas worden dan de als antilichaam bedoel-

de dierlijke monoklonalen door de mens als antigeen beschouwd. Deze moeilijkheid moet worden omzeild en één mogelijkheid, waaraan wij in ons laboratorium werken, is het zogenaamde humaniseren van de monoklonale antilichamen uit de muis. Door recombinant-DNA-technieken kan men de functioneel belangrijke gebieden uit het gen van het muizeantilichaam knippen en overplanten in een willekeurig gen voor een antilichaammolekuul van menselijke oorsprong. Zo is het, theoretisch althans, mogelijk om menselijke monoklonale antilichamen te verkrijgen die zijn gericht tegen menselijk gamma-interferon. Of deze antistof uit twee organismen ook klinisch bruikbaar zal zijn tegen ontstekingsziekten moeten we nog afwachten.



10. Lymfocyten (aangeduid met L) komen in deze leverbiopsie voor in de buurt van een macrofaag die antigenen op zijn membraan presenteert. De antigenen zijn aangekleurd en de pijl wijst naar het donkere randje waar de presentatie gebeurt. De lymfocyten zullen de antigenen 'onderzoeken' en er antilichamen tegen maken zodat het lichaamsvreemde materiaal kan worden opgeruimd. (Vergroting 7200 x. Foto: dr R. Devos, Afd. Histochemie en Cytochemie, KU Leuven).



10

lijke alternatief zou echter zijn dat men kleine, gemakkelijk te synthetiseren molekulen vindt die zich op de receptoren binden zonder ze te activeren, zodat de receptoren geblokkeerd worden en de cellen daardoor ongevoelig zouden zijn voor cytokinen.

Bij dit alles kan men de vraag stellen wat dergelijke ontwikkelingen zouden toevoegen aan het bestaande geneesmiddelenarsenaal tegen ontstekingsziekten. Is dat arsenaal wel zo ontoereikend? De geneesheer beschikt toch al

over verscheidene categorieën van anti-inflammatoire stoffen: aspirine-achtige stoffen, antihistaminen en cortisonachtige stoffen. Toch zijn er nog vele ziekten die op onvoldoende wijze kunnen worden behandeld. Ook hebben sommige van de bestaande behandelwijzen vervelende of ronduit gevaarlijke bijwerkingen. De hoop bestaat dus dat de ontdekking van de cytokinen en hun antagonisten ons inderdaad zullen leiden naar substantiële verbeteringen in de geneeskunde.


De auteur dankt zijn naaste medewerkers dr R. Dijkmans, H. Heremans, G. Opdenakker en J. Van Damme, evenals zijn collega's van de Faculteit Geneeskunde aan de KU Leuven, de professoren C. Deneef (Afdeling Farmacologie), B. Van Damme (Afdeling Histochemie en Cytochemie), J. Vermeylen (Centrum voor Trombose en Vasculair Onderzoek) en J. Dequeker (Afdeling Reumatologie) voor kritische lezing van de tekst en ter beschikking stellen van illustratiemateriaal.

Literatuur

- Tweel JG van den. Immunologie – Het menselijk afweersysteem. Maastricht: Centrale Uitgeverij/Natuur en Techniek; 1988. ISBN 90 70 155 77 2
Van Lent PLEM en Van den Berg WB. Reuma. Natuur en Techniek 1989; 57, no 1; pag 14-26

Bronvermelding illustraties

Voorzover in de bijschriften niet anders vermeld zijn de foto's afkomstig van de auteur.



VER VAN EVENWICHT

Thermodynamica
van levende
systemen

Dode organismen verkeren in een toestand van evenwicht. Alle levende wezens kenmerken zich doordat ze, thermodynamisch gezien, niet in evenwicht verkeren. De klassieke thermodynamica, in de vorige eeuw ontwikkeld, beschrijft alleen systemen in evenwicht. Het lijkt dus uitgesloten om het leven als thermodynamisch proces te beschrijven. Toch is hier de laatste decennia verandering in gekomen. Een van de grondleggers van de niet-evenwichts-thermodynamica en de initiator van het onderzoek van een thermodynamische verklaring voor het ontstaan van het leven was de Belgische hoogleraar I. Prigogine, die voor zijn werk in 1977 de Nobelprijs voor de Scheikunde kreeg.

Een voor de hand liggende vraag is natuurlijk waarom onderzoekers het leven volgens de theorie van de thermodynamica willen beschrijven. Welnu, leven bestaat, molekulaair gezien, uit ingewikkelde stelsels reacties waarbij ordening ontstaat. Eén van de twee hoofdwetten van de thermodynamica lijkt echter in te houden dat ieder systeem naar zo groot mogelijke wanorde of entropie streeft. Entropie, een typisch thermodynamische grootheid, wordt vaak als een maat voor orde en wanorde in een systeem beschouwd. Het lijkt dus voor de hand liggend de levensprocessen in termen van entropie te beschrijven. Gelukkig is ook ondanks die tweede hoofdwet, leven niet onmogelijk.

A. Schuijff

Rijksuniversiteit Utrecht

In een ei neemt tijdens het broeden de entropie alsmaar af. Thermodynamisch gezien is dit het gevolg van de chemische reacties die verlopen bij een gunstige temperatuur. De moederkloek handhaaft die tijdens het broeden. Tijdens het broedproces wordt veel warmte aan de omgeving afgestaan. Naarmate het kuiken groeit raakt de situatie in het ei meer en meer geordend: de posities van de atomen zijn steeds nauwkeuriger vastgelegd. Dat wil zeggen dat er structuren ontstaan.



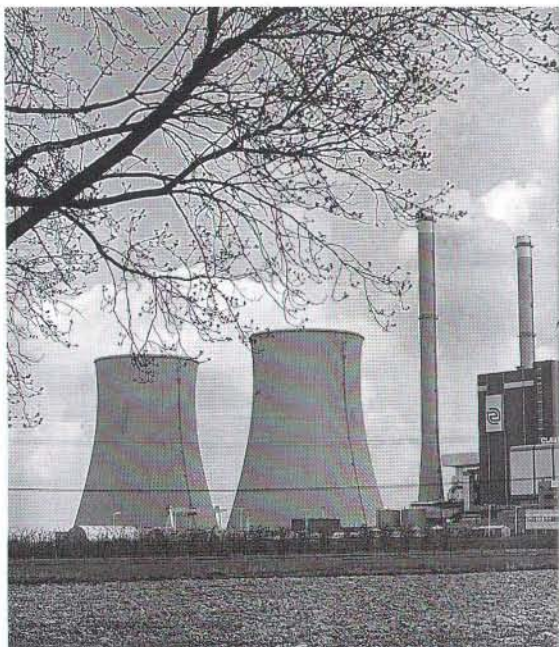
De thermodynamica is een onderdeel van de natuurwetenschappen en houdt zich bezig met de relaties tussen warmte, arbeid, energie, druk, temperatuur en volume. Warmte en arbeid zijn meetbare grootheden, maar hun aard is niet eenvoudig moleculair te doorzien. Druk en temperatuur zijn beter te begrijpen in termen van atomen en molekulen. Ze zijn altijd het gemiddelde effect van de invloeden die alle atomen en molekulen uitoefenen. Die bewegen met een bepaalde snelheid, en vibreren en roteren om een evenwichtstoestand. Wat ze doen is uiteraard afhankelijk van de aggregatietoestand waarin ze zich bevinden.

In lucht in een opgepompte fietsband bijvoorbeeld botsen de molekulen met onderling verschillende snelheden tegen de wand van de binnenband. Het gezamenlijke effect van die miljarden botsingen per seconde ervaren wij als de druk van het gas, waardoor de band op spanning staat. Pompen we de band harder op, dan komen er meer molekulen in de band en botsen er ook meer, waardoor de druk in de band omhoog gaat. Wordt het kouder, dan lijkt de band slapper omdat de molekulen minder thermische beweging vertonen. Na een plotselinge temperatuurdaling grijpen veel fietsers naar de pomp.

Uit de bewegingsvergelijkingen van de deeltjes en met behulp van statistiek, toepasbaar omdat het meestal om zeer grote aantallen deeltjes gaat, zijn dan uiteindelijk de grootheden af te leiden waar de thermodynamica mee werkt. De thermodynamica zelf is een theorie die is geconstrueerd op basis van twee wetten. De eerste hoofdwet is bekend als de *wet van behoud van energie*. De tweede hoofdwet beschrijft het streven naar zo groot mogelijke *entropie* van ieder systeem; deze wet werd in het begin van dit artikel al genoemd. We zullen eerst beide hoofdwetten behandelen, voor we kunnen overgaan naar de problemen die thermodynamici ontmoeten wanneer ze levensprocessen proberen te beschrijven.

Energiebehoud

Energie kan niet uit het niets worden gemaakt en kan ook niet worden vernietigd. In het dagelijkse leven valt vaak de term *energieproductie*. Elektriciteitscentrales zouden bijvoorbeeld *energie* produceren, maar in werkelijkheid kunnen ze dat niet. Ze kunnen wel *arbeid*



1

leveren, wat een vorm van energieoverdracht is. Elektriciteitscentrales produceren overigens ook veel warmte en dat is naast arbeid de enige andere vorm van energie-overdracht.

De eerste hoofdwet van de thermodynamica legt een relatie tussen energie enerzijds en warmte en arbeid anderzijds: de som van de toegevoerde warmte en de op een systeem verrichte arbeid is gelijk aan de toename van de inwendige energie van dat systeem.

Arbeid en warmte zijn dus allebei vormen van energie-overdracht en worden ook in dezelfde eenheden uitgedrukt, officieel in Joules, soms nog in calorieën. Toch zijn ze niet gelijkwaardig: tussen warmte en arbeid bestaat een soort eenrichtingsverkeer. Arbeid kan wel helemaal in warmte overgaan, maar andersom is dat niet mogelijk. Een draaiende motor kan wel al zijn verrichte arbeid in warmte omzetten, maar een in de hitte geplaatste motor gaat niet draaien.

De tweede hoofdwet beschrijft dit verschijnsel als volgt: het is niet mogelijk warmte aan een reservoir te onttrekken en geheel in arbeid om te zetten, zonder dat er verder in de wereld iets gebeurt. De diepere achtergrond van deze wet is dat warmte op moleculaire schaal een



1. Elektriciteitscentrales produceren energie, hoor je vaak zeggen. Dat is echter niet waar. Elektriciteitscentrales produceren wel elektriciteit maar ze doen dit door fossiele energie om te zetten in elektrische energie. De wet van behoud van energie geldt dus ook voor centrales.

chaotische vorm van energie is en arbeid een geordende vorm. Een interpretatie van de tweede hoofdwet is dus te zeggen dat een systeem, moleculair gezien, altijd van geordend in chaotisch wil veranderen.

We zouden hieruit de conclusie kunnen trekken dat processen waarbij vanzelf ordening ontstaat door de tweede hoofdwet worden uitgesloten en dus in de natuur niet zullen voorkomen. Maar dat is beslist niet het geval. Levende organismen zijn het treffende voorbeeld van moleculair geordende systemen die ogenschijnlijk vanzelf uit ongeordende bouwstenen ontstaan.

Geen evenwicht

De achterdocht die kan worden ontwikkeld tegen het woordje 'vanzelf' in bovenstaande zinnen is terecht. Bij het ontstaan van ordening is een kracht werkzaam, waarvan we in de loop van dit artikel zullen proberen het karakter vast te stellen. De tweede hoofdwet wijst ons hierbij weer de weg. Die wet sluit dus enerzijds het vanzelf ontstaan van ordening uit, maar geeft anderzijds aan onder welke omstandigheden wel ordening kan ontstaan.

Het is misschien opgevallen dat het in de tweede hoofdwet over processen gaat, terwijl er sprake van was dat de klassieke thermodynamica alleen evenwichtssituaties goed beschrijft. De verklaring voor deze schijnbare tegenspraak is dat de wiskundige vergelijkingen in de klassieke thermodynamica alleen kunnen worden opgelost voor het limietgeval van oneindig langzaam verlopende processen, die behandeld worden als opeenvolgingen van evenwichtssituaties die dan ook altijd omkeerbaar zijn. Met echte chemische reacties is dat bijvoorbeeld niet het geval. Die limietgevallen worden *reversibele processen* genoemd en de daaruit afgeleide thermodynamica is de *reversibele of evenwichtsthermodynamica*.

Er is een andere formulering van de tweede hoofdwet die zegt dat warmte stroomt onder invloed van een temperatuurverschil en dat de natuurlijke richting van hoge naar lage temperatuur is, en nooit omgekeerd. Uitgedrukt in een formule komen we nu het begrip *entropie* (zie intermezzo) tegen:

$$dS = \frac{q_{\text{rev}}}{T}$$

In woorden staat hier dat de bij een reversibel proces door een systeem met zijn omgeving uitgewisselde warmte (q_{rev}) gedeeld door de absolute temperatuur waarbij die warmte wordt uitgewisseld, gelijk is aan de entropieverandering (dS) bij dat proces.

Een mathematische formulering van de entropie, opgesteld door Boltzmann in 1862, luidt

$$S = k \ln W$$

waarin W het aantal mogelijke configuraties in een systeem is, k een evenredigheidsconstante en S de entropie. W en S worden in het intermezzo geïntroduceerd, hier zij vermeld dat deze formulering inhoudt dat de entropie van een systeem stijgt als het volume of de temperatuur toenemen. Aan te tonen is dat in een van de omgeving afgesloten systeem alleen iets gebeurt als daarbij de entropie toeneemt. In een systeem in rust is de entropie dus maximaal. Deze eigenschappen maken de grootheid entropie erg geschikt om haar te gebruiken in besprekingen van verlopende processen, zoals de chemische reacties die bij levensprocessen een rol spelen. We moeten daarvoor echter een overgang maken naar de *irreversibele thermo-*

dynamica, de thermodynamica van de niet-evenwichtsprocessen. In het volgende voorbeeld zullen we duidelijk maken hoe de irreversibele thermodynamica is ontwikkeld.

Entropieproductie

In een laagje water in een vat vinden geen processen meer plaats als het in evenwicht is met zijn omgeving. Het heeft tot gevolg dat er geen warmte, arbeid of materie met de omgeving wordt uitgewisseld. Dit eenvoudige systeem zullen we nu aan een thermodynamische beschouwing onderwerpen. Omdat het systeem in evenwicht is, weten we nu dat de entropie ervan maximaal is, de ordening is laag.

Zetten we de bak met water op een verwarmingsplaat met een iets hogere temperatuur

$T + \Delta T$, dan bestaat er een temperatuurverschil ΔT tussen onder- en bovenkant van het systeem. Het kan dan natuurlijk niet meer in evenwicht zijn. Thermodynamici zeggen dat er een kracht op het systeem wordt uitgeoefend, hoewel dat niet een kracht is in de zin van de mechanica. Het systeem reageert op die kracht met een warmtestroom van hoge naar lage temperatuur, dus in dit geval een stroom van onder naar boven. Als we ΔT in stand houden ontstaat er na enige tijd een toestand die niet meer verandert. Toch is dit geen evenwichtstoestand, want de temperatuur is niet overal in de waterlaag dezelfde. Er is een temperatuurgradiënt ontstaan, waarbij de temperatuur gelijkmatig verloopt. We kunnen dit beschouwen als een ordening van het systeem, veroorzaakt door de uitwendige kracht ΔT . Het is een

Entropie en configuraties

De fysische grootte entropie wordt vaak gekoppeld aan begrippen orde en wanorde. Die hebben echter meer een gevoelswaarde dan dat ze gebruikt kunnen worden om de entropie te definiëren.

Voor een preciezere beschrijving van het begrip entropie gaan we uit van een verzameling moleculen, bijvoorbeeld een gas in een geïsoleerd afgesloten vat van een bepaald volume en bij constante druk en temperatuur. We noemen dat een systeem in een bepaalde *toestand*. Ondanks de gelijkblijvende druk, temperatuur en inhoud zullen de afzonderlijke moleculen in het gas verschillende energie-inhouden hebben, en ook voortdurend van positie veranderen. Een configuratie (W) van een systeem is nu één mogelijke rangschikking van de posities met bijbehorende energieën van de verschillende moleculen in het systeem. Het zal onmiddellijk duidelijk zijn dat onder normale omstandigheden het aantal mogelijke configuraties ontelbaar groot is, alleen al omdat de moleculen vrijwel ontelbaar veel verschillende posities in kunnen nemen. Het aantal posities is groter als het volume toeneemt. Bovendien kan de totale energie op zeer veel manieren over de moleculen worden verdeeld. De verdelingsmogelijkheden nemen toe naarmate de totale energie van het systeem groter is.

Het aantal mogelijke configuraties van een reëel systeem, een liter gas bij kamertemperatuur bijvoorbeeld, is zeer moeilijk te berekenen, maar statistische technieken zijn hier krachtige hulpmiddelen

omdat het aantal deeltjes zo groot is dat de deeltjes in de systemen feilloos de bekende verdelingswetten volgen. Boltzmann, één van de grondleggers van de statistische mechanica, waar de thermodynamica weer uit voortgekomen is, formuleerde de relatie tussen het aantal configuraties en de entropie als

$$S = k \ln W$$

waarin k een evenredigheidsconstante is, gelijk aan $1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$. Getalsmatig zullen we niet diep op het aantal configuraties ingaan. Treffend is alleen dat de entropie bij het absolute nulpunt volgens deze formule 0 wordt aangezien een systeem dan maar één configuratie heeft. We zien verder dat een groter volume en energietoevoer gepaard gaan met een toename van de entropie, omdat we hierboven zagen dat dan W toeneemt.

De entropie is een toestandsfunctie, dat wil zeggen dat de waarde ervan vastligt als de toestand van het systeem vastligt. Dat laatste is het geval als temperatuur, druk, volume en samenstelling niet variëren. Dat is zo wanneer het systeem in evenwicht verkeert, waaruit we moeten concluderen dat de entropie van niet-evenwichtstoestanden een afzonderlijke definitie heeft.

Er bestaat geen wet van behoud van entropie, zoals die voor energie wel bestaat. Als in een volledig van zijn omgeving afgesloten systeem, waarin dus volume en energie niet veranderen, een spontaan

ordering omdat er structuur is ontstaan: er zijn punten van hoge en van lage temperatuur en die zijn netjes aflopend gerangschikt.

We noemen een dergelijke tijdsonafhankelijke niet-evenwichtstoestand een *stationaire toestand*. Die neemt in de niet-evenwichtsthermodynamica de plaats in van de evenwichtstoestanden in de klassieke thermodynamica.

Het feit dat ons systeem in een tijdsonafhankelijke toestand verkeert, betekent dat zijn energie constant is. Er moet dus van boven precies evenveel energie worden afgevoerd als er van onder in komt. Er is dus een constante energiestroom J_u door het systeem.

We kunnen de situatie in formule weergeven, uitgaande van de al bekende formule

$$dS = \frac{q_{rev}}{T}$$

of bij constante temperatuur

$$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T}$$

Onderin de laag water wordt een hoeveelheid energie toegevoerd ter grootte van

$$\Delta S_{onder} = \frac{q_{rev}}{T + \Delta T}$$

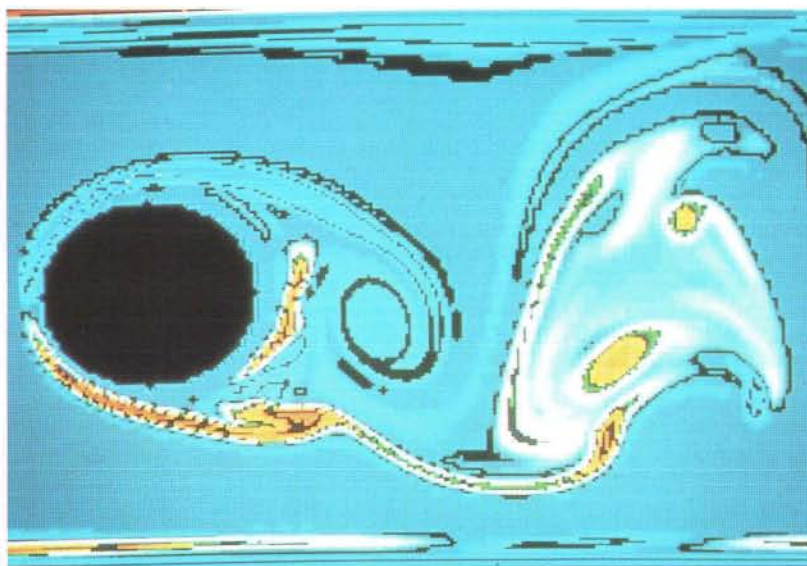
Boven wordt afgevoerd:

$$\Delta S_{boven} = \frac{q_{rev}}{T}$$

Omdat nu eenmaal $T + \Delta T$ groter is dan T en omdat q_{rev} onder en boven gelijk zijn, betekent dit dat

$$\Delta S_{boven} > \Delta S_{onder}$$

INTERMEZZO I



I-1. Bij mengen van verschillende stoffen neemt de entropie van een systeem toe. Als de componenten nog niet volledig zijn geroerd zijn de posities van de atomen van één component beperkt tot de plaatsen van het vat waar die component zich bevindt. Is alles gemengd, dan kan ieder atoom zich op iedere plaats in het vat bevinden. We zien dus dat door mengen de mogelijke verdelingen van de deeltjes in het vat, het aantal mogelijke configuraties, toeneemt.

proces plaatsvindt kan uit de hoofdwetten worden afgeleid dat dan de entropie daarbij moet toenemen. Zo'n systeem kan bijvoorbeeld een gasmengsel zijn waar een reactie in verloopt. Vaak is aan de hand van entropieberekeningen te achterhalen of een reactie in zo'n afgesloten systeem wel of niet kan verlo-

pen. Spontane processen verlopen net zolang tot de entropie maximaal is. Het rekenen met de toestandsfunctie entropie kan dus inzicht verschaffen in de uiteindelijke toestand die een systeem met verschillende stoffen kan bereiken en wordt op die manier ook veel gebruikt.

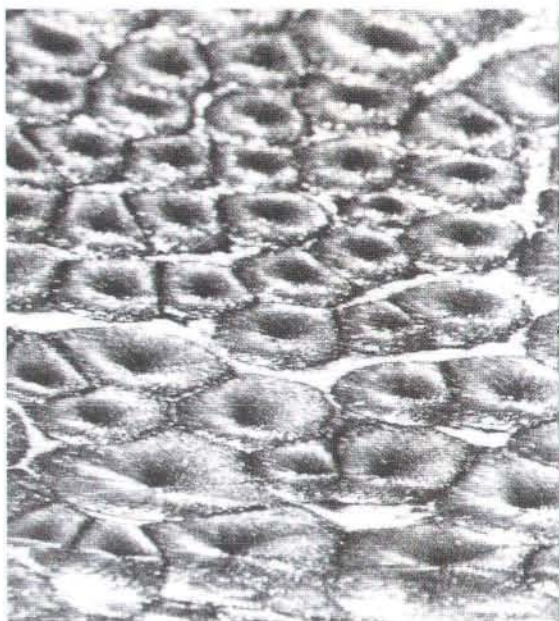
Er wordt dus meer entropie afgevoerd dan toegevoerd. De waterlaag verkeert echter in een stationaire toestand, wat betekent dat hij een constante entropie heeft. Dat kan dus alleen maar betekenen dat er in het systeem door de kracht ΔT entropie wordt geproduceerd, die naar boven toe wordt afgevoerd. Prigogine heeft nu van zulke systemen in stationaire toestanden als eerste aangetoond dat ze ernaar streven die entropieproductie zo klein mogelijk te houden.

De ordening van punten met hogere en lagere temperatuur blijft natuurlijk alleen maar in stand zolang de kracht ΔT werkt. Wordt de kracht weggenomen dan voltrekt zich een spontaan proces, te weten het verdwijnen van de gradiënt, resulterend in de oude evenwichtstoestand met maximale entropie. De stationaire toestand met temperatuurgradiënt had dus een relatief lage entropie.

De algemene conclusie van ons eenvoudige experiment is dat een energiestroom, opgelegd aan een evenwichtssysteem, daarin een ordening teweegbrengt die we thermodynamisch als een entropieverlaging interpreteren. We hebben nu de eerste stap gezet op weg naar meer begrip van de ordening van de wereld om ons heen door die in kwantificeerbare functies als entropie en energie te beschrijven. Hierna zullen we bekijken wat er met de entropie gebeurt als er ook deeltjesstromen optreden.

Turbulente orde

De ordening in de waterlaag was erg zwak, omdat het temperatuurverschil zo klein was. Uit ervaring hadden we waarschijnlijk wel in de gaten dat het temperatuurverschil heel klein moest zijn om een echte gradiënt te krijgen. Het hierboven beschreven experiment lijkt absoluut niet op een ketel water die op het vuur staat om theewater aan de kook te brengen. Zelfs als later de theepot op een warmhoudplaatje staat, treden nog stromingen op in de vloeistof en is het temperatuurverschil dus nog te groot. Het nadeel van het kleine temperatuurverschil is wel dat er maar heel weinig ordening ontstaat, omdat de aangelegde warmtekracht zo klein was. We kunnen ons afvragen of er niet een duidelijker ordening, leidend tot structuren is te verkrijgen. Het ligt dan voor de hand de aangelegde kracht te vergroten. Het resultaat is verrassend, zoals we hieronder zul-



2

2, 3 en 4. Bénard-cellen in een vloeistof die van onder zo sterk wordt opgewarmd dat energietransport door deeltjesstromen (convectorie) plaatsvindt. Heel mooi zijn de ontstane structuren zichtbaar (2 en 3). De teke-

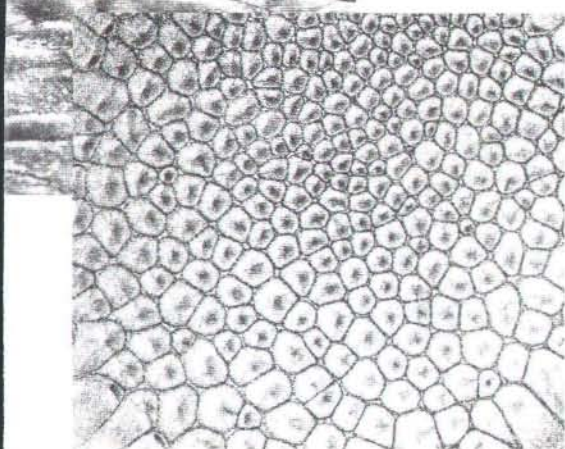
ning vat samen dat in een systeem met Bénard-cellen de entropie laag wordt gehouden: van boven wordt de entropie afgevoerd die er onder wordt ingestopt, te zamen met de geproduceerde energie.

len zien, en heeft Prigogine ertoe gezet de thermodynamica van de niet-evenwichtssystemen verder te ontwikkelen.

Keren we terug naar onze waterlaag. Met onze huidige kennis van de begrippen temperatuur en warmte ligt het voor de hand te veronderstellen dat de grootte van de warmtestroom evenredig zal zijn met de grootte van ΔT . Toen Fourier dat in 1811 voor het eerst in een formule opschreef was dat een nieuwigheid van belang. Deze wet van Fourier luidt:

$$J_q = -\alpha \Delta T$$

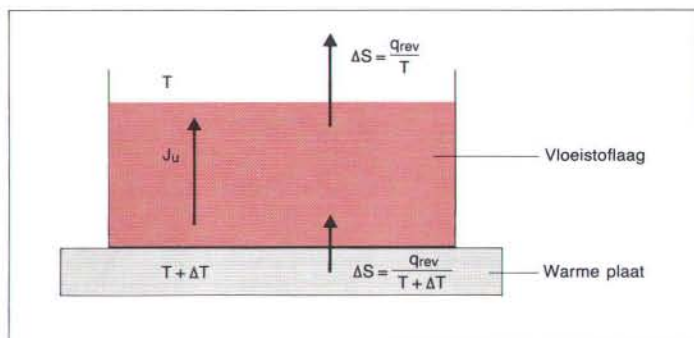
waarin J_q de warmtestroom is en α een evenredigheidsconstante. Het minteken betekent dat de warmtestroom tegengesteld is gericht aan de temperatuurgradiënt, die positief is van laag naar hoog. Deze lineaire relatie is algemeen geldig en niet afhankelijk van de aard



3

van de stof; het betekent overigens niet dat er geen andere processen van warmteoverdracht kunnen optreden. We komen ze straks tegen. Het deel van de thermodynamica dat zich beperkt tot de beschrijving van processen waarbij de stroom alleen lineair van de kracht afhangt heet de *lineaire irreversibele thermodynamica*.

Vergroten we in ons systeem ΔT steeds verder, dan zal er een ogenblik komen dat het niet meer in staat is de nodige energie te transporteren. Een dramatische verandering is het gevolg. Het systeem schakelt over op *convectie*, een proces dat veel effectiever is voor energietransport. Het betekent dat er stromen ontstaan van grote aantallen deeltjes die in dezelfde richting bewegen. En dat is, in tegenstelling tot warmtegeleiding, ook te zien. Het is ook duidelijk dat de ordening hierbij aanzienlijk



4

groter is dan bij warmtegeleiding, waarbij de molekulen zich, ondanks het transport van energie in één richting, chaotisch door elkaar bewegen. Het systeem heeft bij de overgang het lineaire gebied verlaten en is nu niet-lineair. Die overgang is zo plotseling dat hij vergelijkbaar is met een fase-overgang als het smelten van ijs.

Niet-lineaire systemen zijn het eerst door de Franse fysicus Henri Bénard (1874-1939) bestudeerd en het vervolg dat Prigogine eraan heeft gegeven staat nu ook wel bekend als de *ver-van-evenwichtsthermodynamica*.

Bénard heeft een proef op zijn naam staan die in principe dezelfde is als onze proef met de waterlaag, maar meestal met olie wordt uitgevoerd. De verwarming vindt ook van onderaf plaats en bij een zekere, vrij grote ΔT ziet men plotseling een structuur in de olie ontstaan die een gevolg is van de optredende convectie. De structuur bestaat meestal uit zeshoekige cellen, maar soms ook uit een rollenpatroon, enigszins afhankelijk van de vorm van het reactievat waarin de proef wordt uitgevoerd. De ontstane patronen heten tegenwoordig *Bénardcellen*. De proef van Bénard is uiteraard grondig bestudeerd en er is een hydrodynamische verklaring voor het optreden van de verschillende patronen. Ons interesseert echter voornamelijk het feit dat onder invloed van een energiestroom in een aanvankelijk homogeen systeem een structuur kan ontstaan en in stand kan blijven. Het is overigens zo dat de structuren *kunnen* ontstaan, niet dat ze *moeten* ontstaan. De thermodynamica biedt mogelijkheden om na te gaan welke omstandigheden gunstig zijn voor het ontstaan van structuren en daar zullen we nu verder op in gaan.

Open systemen

De formule voor de stationaire toestand in de vloeistoflaag die voor de waterlaag is geschreven als $J_q = -\alpha \Delta T$ schrijven we nu in de algemene vorm van een kracht X die een stroom J veroorzaakt; L is in de formule een positieve evenredigheidsconstante:

$$J = LX$$

Een kleine verandering dX van X zal uiteraard een kleine verandering dJ van J tot gevolg hebben. Een toename van de kracht veroorzaakt een toename van de stroom, de verandering heeft dus hetzelfde teken. De verandering van de stroom doet het effect van de kracht teniet, wat betekent dat de oorspronkelijke toestand wordt hersteld. Die oorspronkelijke toestand is daarmee een stabiele toestand. De eis voor stabiliteit blijkt zo te zijn dat dX en dJ beide positief of beide negatief moeten zijn. In formule luidt de stabiliteitseis voor een stabiele toestand dus:

$$dJ \cdot dX > 0$$

We hebben die formule hier afgeleid voor een systeem met een temperatuurverschil, maar zij geldt algemeen, dus ook voor systemen waarin de kracht een concentratieverschil, een potentiaalverschil of een chemische aantrekkingskracht is.

Zolang een systeem stabiel is, zullen er geen structurele veranderingen in optreden. Willen we die wel, dan moeten we het systeem buiten het lineaire gebied brengen. In ons geval doen we dit door het temperatuurverschil, als bij de proef van Bénard, tussen onder- en bovenkant zo groot te maken dat geen lineaire respons meer mogelijk is. Het systeem komt dan in een niet-lineair gebied en de stroom is niet meer evenredig met de aangelegde kracht. Dan kan een structuur worden gevormd. De energie die het systeem binnenkomt wordt dan niet meer alleen getransporteerd, maar voor een deel gebruikt om de structuur in stand te houden. Dit soort structuren zijn overigens fundamenteel verschillend van evenwichtsstructuren in kristallen die in stand blijven zonder energietoever. Wanneer energie wordt gebruikt zonder dat arbeid wordt verricht heet dit *dissipatie* van energie. Het in stand houden van een structuur is zo'n proces. Daarom heeft Prigogine voor dit soort structuren de naam *dissipa-*

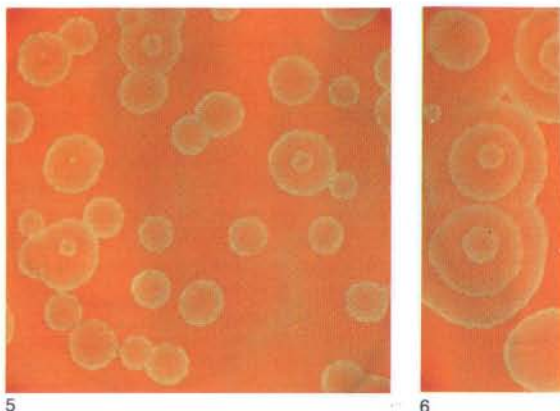
tieve structuren ingevoerd. Ook de Bénard-cellen zijn dissipatieve structuren.

Samenvattend kunnen dissipatieve structuren dus alleen bestaan in systemen waarin toeven afvoer van energie en stof mogelijk is. Dit heten *open systemen*; alle levende organismen vallen eronder. Een andere eis voor dissipatieve structuren is dat ze niet in een stabiele toestand verkeren, want dan gebeurt er niets bijzonders. Het produkt $dJ \cdot dX$ moet dus negatief kunnen zijn. De laatste voorwaarde zullen we in het volgende voorbeeld gebruiken.

Een vijver vol vissen

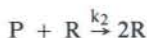
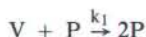
Dissipatieve structuren kunnen ontstaan in een laagje vloeistof, maar ook in ingewikkelder systemen. Het principe laat zich aardig demonstreren aan de hand van een voorbeeld uit de biologie: het roofdier-prooisysteem, of, naar de opstellers, het Lotka-Volterrasysteem genoemd.

In een vijver leven grote en kleine vissen. De kleine vissen leven van planten die in overvloed aanwezig zijn. De grote vissen leven van de kleine vissen. De kleine vissen zijn dus prooidieren van de grote, die roofdier zijn. Er



5, 6, 7 en 8. De Belousov-Zhabotinsky-reactie is een beroemd voorbeeld van een oscillerende reactie waarbij malonzuur ($\text{HOOC-CH}_2\text{-COOH}$) door bromaat wordt geoxydeerd, onder invloed van ceriumionen. Kenmerkend is dat er sprake is van autokatalyse: één van de produkten, in dit geval HBrO_2 bevordert de vorming van zichzelf. Dit blijkt een noodzakelijke voorwaarde voor een oscillerende reactie. De reactie zelf is alleen in een uiterst ingewikkeld stelsel van reactievergelijkingen vast te leggen: 18 verge-

spelen zich in de vijver dramatische taferelen af die we in de volgende formules kunnen vastleggen. De planten noemen we V(egetatie), de kleine vissen P(rooi), de grote vissen R(over) en de restanten A(fval). We zien dan het volgende zich voltrekken:



De eerste vergelijking geeft aan dat de kleine vissen zich bij aanwezigheid van voldoende planten vermenigvuldigen met een snelheid k_1 . De tweede vergelijking betekent hetzelfde voor de grote vissen; de kleine vissen zijn het voedsel. De derde vergelijking leert ons dat de grote vissen sterven met snelheid k_3 . Optelling van het totale proces geeft



en die vergelijking betekent voor de vissen zoveel als: uit stof ben je ontstaan en tot stof keer je weer. De vissen, groot en klein, zijn dus intermediären die slechts dienen om voedsel in afval om te zetten.

Het spreekt vanzelf dat deze vergelijkingen ook van toepassing zijn op roofdier-prooisystemen van andere diersoorten. Hier staat overigens een eenvoudig stelsel: het is natuurlijk niet denkbaar dat uit slechts één prooi en één roofdier twee nieuwe ontstaan, meestal zijn er veel prooidieren nodig om een nest roofdieren groot te brengen. De vergelijkingen zijn ook bruikbaar voor heel andere systemen, zoals chemische reacties.

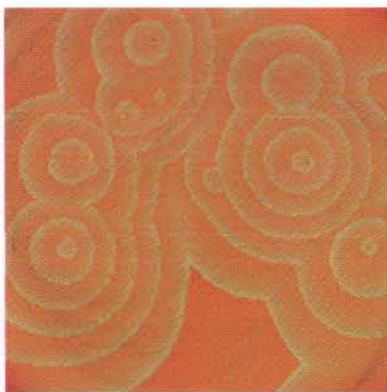
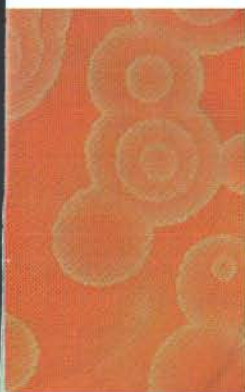
Bekijken we de vergelijkingen in onderling verband, dan zien we dat de eerste vergelijking een toename van kleine vissen uitdrukt en de tweede een afname. We kunnen nu de factor tijd invoeren. De twee reacties beschrijven dan de verandering van het aantal kleine vissen met de tijd. Voor de toename in de tijd van P volgt:

$$\frac{dP}{dt} = k_1 V X$$

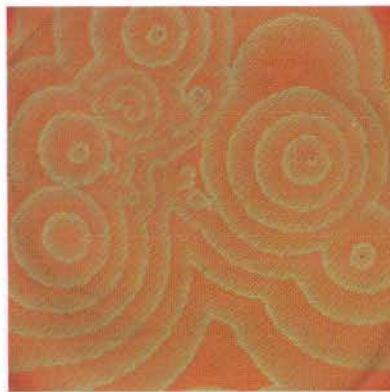
De afname van P is:

$$\frac{dP}{dt} = k_2 P R$$

De verandering van het aantal kleine vissen is dan:

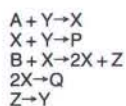


7

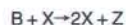


8

lijkingen met 21 verbindingen. Daarom hanteert men een eenvoudiger schema van vijf vergelijkingen, dat de argonator wordt genoemd:



Hierin staat X voor $[HBrO_2]$, Y voor $[Br^-]$ en Z voor $2[Ce^{4+}]$. De andere letters staan voor verzamelingen verbindingen. De autokatalytische stap hierin is



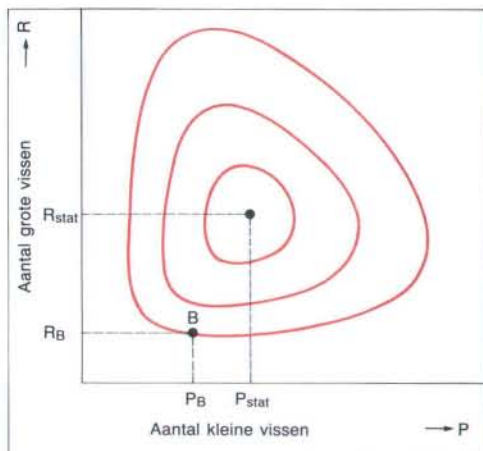
De foto toont in een Petrischaaltje de oscillerende concentraties in de tijd en de ruimte: bij iedere lichte ring is het systeem weer in dezelfde situatie teruggekeerd.

9. De beginaantallen roof- en prooidieren, in dit geval grote vissen en kleine vis-

sen, bepalen de aantallen die tijdens een cyclus ontstaan.

10. Vele roofdier-prooidiersystemen, zoals hier boommarter en muis, kennen cyclisch verlopende aantalschommelingen. Zelfs in de vrije natuur, waar nog vele andere factoren van invloed zijn, zien we daardoor aantalsfluctuaties over perioden van

jaren optreden. Vaak geeft men tegenwoordig milieu-verstoringen de schuld van de achteruitgang van een soort. Dikwijls terecht, maar tweemaal nadenken voor de beschuldigende vinger omhoog gaat is op zijn plaats.



9

$$\frac{dP}{dt} = k_1VP - k_2PR$$

Op dezelfde wijze is de verandering van het aantal grote vissen in de tijd:

$$\frac{dR}{dt} = k_2PR - k_3R$$

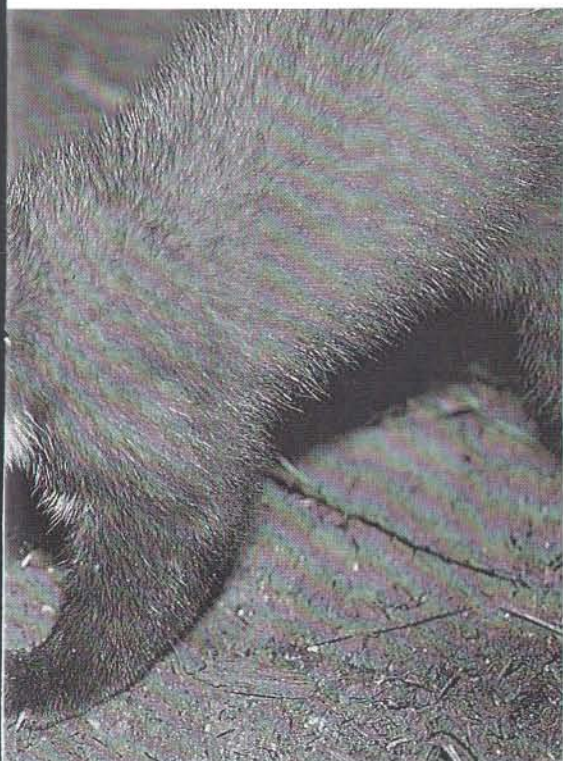
Deze twee differentiaalvergelijking zijn betrekkelijk eenvoudig op te lossen en leveren oplossingen zoals grafisch weergegeven zijn in afbeelding 9. Langs de verticale as is de waarde van R uitgezet, langs de horizontale as die van P. Een punt in de grafiek geeft dus twee bij elkaar horende waarden van P en R aan. De curven in de grafiek laten zien dat er een stel bij elkaar horende waarden van P en R kan worden gekozen, waarna er een ontwikkeling in de tijd plaatsvindt die echter steeds tot resultaat heeft dat het systeem weer op de oorspronkelijke waarden terugkeert. Beginnen we met een andere combinatie van P en R, dan



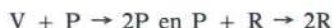
10

volgt het systeem een andere baan. Kiezen we bijvoorbeeld een beginsituatie met P_B kleine vissen en R_B grote vissen, dan zal aanvankelijk alleen het aantal kleine vissen snel toenemen. Waar de baan naar boven ombuigt verandert de toestand dramatisch: er zijn zoveel kleine vissen dat het aantal grote vissen ook snel toeneemt. Het aantal kleine vissen neemt dan weer af, totdat de grote vissen van honger sterven, wat wordt aangegeven door het dalende traject van de curve. In het uitgangspunt B gekomen begint de cyclus met de aantallen-variaties opnieuw.

De curven die ontstaan bij verschillende beginwaarden van P en R zijn concentrisch en de kleinste baan is een punt. Daar veranderen P en R niet meer: er ontstaan daar precies zoveel kleine en grote vissen als er opgegeten worden respectievelijk doodgaan. In dat punt heerst een stationaire toestand, geen evenwichtstoestand, want het proces van geboren worden en sterven gaat steeds door en voortdurend wordt V in A omgezet. Het cyclisch gedrag van het



vergelijkingenstelsel wordt bij nader inzien veroorzaakt door de vorm



dus door het feit dat de vissen hun eigen ontstaan stimuleren.

Ook in sommige chemische reacties komen die processen voor; men noemt dat *autokatalyse*. Een produkt bevordert dan zijn eigen vorming. Gezien de analogie in de mathematiek mogen we dan verwachten dat er cyclische processen optreden en dat gebeurt inderdaad. Een bekend voorbeeld is de oxydatie van malonzuur door bromaat onder invloed van de katalyserende werking van ceriumionen. Het oscillerend gedrag van deze reactie is in 1958 door Belousov ontdekt en later door Zhabotinsky uitgewerkt, waardoor er de naam *Belousov-Zhabotinskyreactie* mee is verbonden, of kortweg B-Z-reactie (afb. 5 t/m 8). De B-Z-reactie kan een oscillatie in de tijd vertonen en wordt dan ook wel de *chemische klok* ge-

noemd. Kiest men de omstandigheden anders, dan ontstaan als een gevolg van een samenspel van diffusie en oscillerende concentraties fraaie structuren. We hebben dan weer te maken met een dissipatieve structuur in de zin van Prigogine. Ook die verschijnselen zijn inmiddels grondig onderzocht en opgehelderd; het voert echter te ver om er hier op in te gaan.

In dit artikel zijn twee verschijnselen aan de orde geweest die kenmerkend zijn voor levende organismen: structuurvorming en oscillaties. Het is de verdienste van Prigogine te hebben aangetoond dat ze beide thermodynamisch goed zijn te verklaren. Hieruit kan men niet het ontstaan van leven verklaren, hooguit kan men vermoeden welke processen een rol hebben gespeeld. Wel maakt de thermodynamica ook duidelijk dat het leven op aarde in stand wordt gehouden door de voortdurende energiestroom van de zon via het aardoppervlak naar het heelal. Het entropieverlagend effect van deze energiestroom is de elegante globale omschrijving van zeer gecompliceerde processen op microscopische schaal die zich op aarde afspelen. Een levend organisme blijft leven zolang het in staat is aan dit proces deel te nemen.


Deze tekst is een bewerking van een lezing voor de Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde Diligentia.

Literatuur

Atkins PW. Energie en entropie – De tweede hoofdwet van de thermodynamica. Maastricht: Natuur en Techniek/Centrale Uitgeverij; 1988. ISBN 90 70157 76 4

Bronvermelding illustraties

Dick Klees, Duiven: pag. 278-279, 10
PLEM, Maasbracht: 1
IBM, Amsterdam: I-1
C. Lemcke, KNMI, De Bilt: 2, 3
M. Koper en J.L. den Boesterd, Vakgroep Algemene Chemie, RU Utrecht: 5, 6, 7 en 8



Op de grote foto zien we het abdominale ganglion van *Aplysia*. Bij gewervelde dieren kent het zenuwstelsel één centraal orgaan: de hersenen. Bij slakken komen meerdere ophopingen van zenuwcellen, verspreid over het hele lichaam voor. Deze ophopingen worden ganglia genoemd. Het in het achterlijf gelegen abdominale ganglion bevat ongeveer 150 neuronen, hier te zien als geelbruine bolletjes. Deze neuronen regelen onder andere hartslag, ademhaling, eileggen en de verwerking van zintuiglijke prikkels. Het ganglion meet ongeveer 1,5 mm. De kleine foto is een ingekleurde elektronenmicroscopische opname van een synaps. De synaptische spleet en de blaasjes met transmittersstof zijn duidelijk zichtbaar.

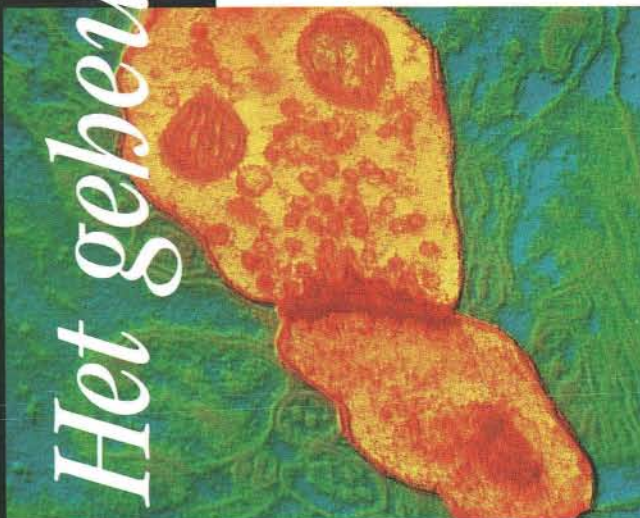


Het geheugen als netwerk

C.M.A. Pennartz
F.H. Lopes da Silva
*Dierfysiologisch Instituut
Universiteit van Amsterdam*

W.H. Gispen
*Rudolf Magnus Instituut
voor Farmacologie
Rijksuniversiteit Utrecht*

Wat verandert er in ons zenuwstelsel wanneer we iets leren? Welke sporen laat een opgedane ervaring achter in de grijze massa van de hersenen? Tot voor kort dacht men dat herinneringen werden gecodeerd en vastgelegd in specifieke macromolekulen. Deze theorie is echter verlaten en tegenwoordig denkt men dat veranderingen in de activiteit van synapsen ten grondslag liggen aan het ontstaan van geheugensporen. Het onderzoek hiernaar spitst zich bij gewervelde dieren toe op de hippocampus, een deel van de hersenen waar informatie uit verschillende soorten zintuigen wordt verwerkt. Daarnaast onderzoekt men ook bepaalde zenuwcellen bij slakken. Het lijkt er daarbij op dat bij een hoge mentale functie als het geheugen overeenkomsten bestaan tussen mensen en slakken.



In 1963 publiceerde de neuroloog Wilder Penfield een serie merkwaardige proefnemingen aan de hersenen van patiënten met epilepsie. Om de aanvallen van deze mensen te beteugelen verwijderde hij een deel van hun hersenen operatief. Hij prikkelde bepaalde delen van de *temporale cortex*, de hersenschors ter hoogte van de slaap, elektrisch en wist zo het epileptisch actieve gebied beter te lokaliseren. De patiënten waren intussen bij bewustzijn en vertelden Penfield wat voor ervaringen zij tijdens de ingreep hadden. Sommige patiënten hoorden geluiden, of zagen dingen die niet in hun gezichtsveld aanwezig waren.

Wat Penfield echter het meest verbaasde, was dat door prikkeling van bepaalde gebieden specifieke herinneringen werden opgeroepen. Zo vertelde één van zijn patiënten dat hij de stem hoorde van een man die hem te kennen gaf dat hij de biljartkamer moest verlaten. Toen Penfield de patiënt later vroeg of het hier werkelijk om een herinnering ging, bleek dat inderdaad het geval te zijn. Drie jaar eerder had de jongen in kwestie tijdens het biljarten een keu gebroken. De cafébaas had daarop geprobeerd hem de deur uit te werken, waarbij ze ruzie hadden gekregen.

Deze resultaten roepen een aantal vragen op. Hoe worden ervaringen in onze hersenen opgeslagen? Hoe is het mogelijk dat ze door eenvoudige elektrische prikkeling weer opgeroepen kunnen worden? Worden geheugensporen uitsluitend in de temporale cortex ge-

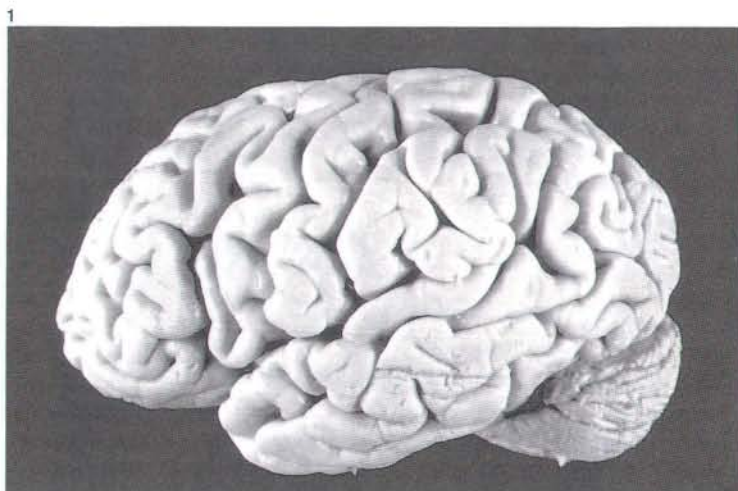
vormd, of liggen zij verspreid over allerlei hersengebieden? Ook nu kunnen we deze vragen nog niet volledig beantwoorden.

De synaps

Om te kunnen begrijpen hoe zenuwcellen of neuronen op elektrische prikkeling reageren, moeten we hun bouw en werking bekijken (afb. 2). Aan de meeste neuronen kunnen we een *cellichaam*, een *axon* of zenuwvezel, en meerdere *dendrieten*, vertakkingen van het cellichaam, onderscheiden. In het cellichaam vinden elementaire processen als de eiwitproductie plaats, waarmee de cel zichzelf in stand houdt. Het axon en de dendrieten verzorgen samen de functie die neuronen onderscheidt van andere lichaamscellen: de impulsgeleiding, waardoor uitgebreide en snelle communicatie met andere neuronen, spier- en andere cellen mogelijk is. Prikkelingen worden omgezet in impulsen die het neuron doorgaans binnenkomen via de dendrieten en hem verlaten via het axon.

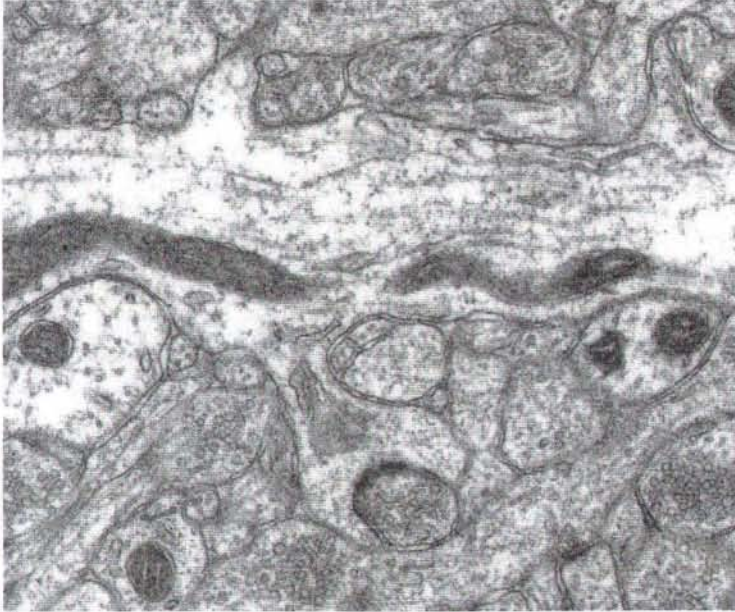
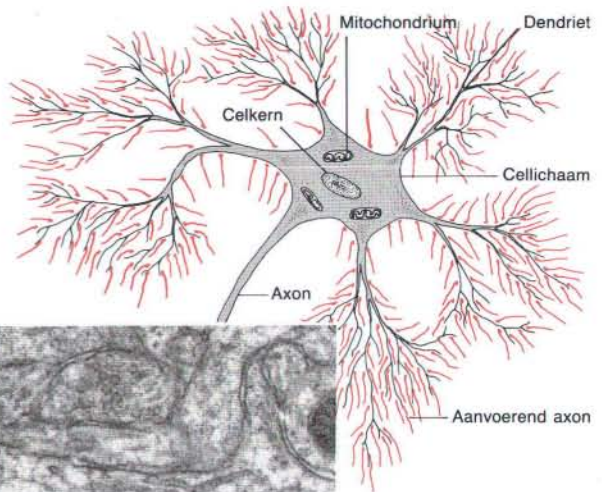
Neuronen geleiden impulsen in de vorm van *actiepotentialen*. Als een neuron in rust is, staat over de membraan een elektrische spanning van ongeveer -70 mV. Het minteken duidt erop dat de binnenkant van de membraan negatief geladen is ten opzichte van de buitenkant. Deze *rustpotential* wordt veroorzaakt door concentratieverschillen van ionen binnen en buiten de cel. De actiepotential is

1. Zijaanzicht van de menselijke hersenen. De windingen en plooiën die het uiterlijk van de hersenen bepalen, vormen de hersenschors; rechtsonder zijn de kleine hersenen zichtbaar. Wilder Penfield onderzocht de temporale lob, die links van de kleine hersenen ligt en schuin naar beneden wijst.



2. Schema van een zenuwcel in de hersenen, waarvan de dendrieten bezaaid zijn met synapsen.

2



3

3. Een spine met synaps. Op deze foto zien we de dendriet als een horizontale lichte balk. Midden onder stulpt de spine uit. Dit is het postsynaptische deel van de synaps. Het presynaptische deel is ook zichtbaar (de ronde structuur aan het uiteinde van de spine) en te herkennen aan de synaptische blaasjes. De donkere structuren in de dendriet zijn mitochondriën (54.000x).

een zeer kortdurende verhoging van de membraanspanning tot circa $+50$ mV, als gevolg van de instroom van natriumionen en de uitstroom van kaliumionen. De ionenstroom is mogelijk, doordat in de membraan *ionkanalen* open- en dichtgaan. Ionkanalen zijn poriën in de membraan die selectief één soort ion kunnen doorlaten. Na afloop van de actiepotentiaal, een kwestie van milliseconden, worden de natriumionen door een eiwit in de membraan uit de cel gepompt, terwijl kaliumionen weer naar binnen gepompt worden, zodat de rusttoestand zich herstelt.

Eenmaal opgewekte actiepotentialen worden langs het axon verder geleid. In veel gevallen eindigt een axon op een dendriet van een volgend neuron. De contactplaats wordt sy-

naps genoemd. Tussen het axonuiteinde en de dendriet bevindt zich een heel smalle opening, de *synaptische spleet*. Als een actiepotentiaal het axonuiteinde (het *presynaptische deel*) bereikt, gaan daar kanalen voor calciumionen open. Deze diffunderen en masse uit de omgevende hersenvloeistof het axon binnen en binden zich daar aan eiwitten die de afgifte van chemische boodschappers (*neurotransmitters*) bevorderen.

Deze transmitters komen vrij in de synaptische spleet en hechten zich aan receptoren op de membraan van het tweede neuron (het *postsynaptische deel*). Deze binding leidt weer tot een verandering in de membraanspanning; dit noemen we de *synaptische respons*. De vele dendrieten van de ontvangende cel zijn be-

zaad met honderden synapsen die veelal op kleine uitstulpingen (spines) liggen. Sommige synapsen verhogen de membraanpotentiaal in de ontvangende cel, andere verlagen deze juist. De informatie die via al die synapsen ongeveer gelijktijdig de cel binnenkomt, wordt op een ingewikkelde manier geïntegreerd en bepaalt uiteindelijk de membraanspanning op het cellichaam. Op grond van die membraanspanning 'beslist' het cellichaam of het een actiepotentiaal zal produceren of niet. Het al dan niet ontstaan van die actiepotentiaal is dus het gevolg van de samenwerking van een groot aantal neuronen.

Plasticiteit

Neuronen en hun onderlinge verbindingen zijn geen onveranderlijke structuren. De hersenen bezitten een verbazingwekkend groot vermogen om zich aan te passen aan wisselende omstandigheden in de buitenwereld. Aan zintuiglijke indrukken die zich telkens herhalen, zoals het tikken van een klok, kunnen we gewend raken; het is net alsof we het niet meer horen. Temidden van geroezemoes kunnen we ons concentreren op één bepaalde stem. Een bijzondere vorm van aanpassing is het vermogen tot leren. Zonder dit vermogen zou een dier bijvoorbeeld steeds de weg kwijtraken en ook niet kunnen leren hoe het een prooi moet vangen. Al deze vormen van aanpassing vallen onder één gemeenschappelijke noemer: *plasti-*

citeit. Hiermee wordt bedoeld dat de elektrische prikkelbaarheid van neuronen verandert als gevolg van ervaring. De vraag is nu wat er dan precies verandert als we iets leren; hoe wordt een geheugenspoor gevormd?

Het zou natuurlijk kunnen dat informatie wordt gecodeerd in de structuur van macromoleculen, te vergelijken met de wijze waarop erfelijke eigenschappen zijn vastgelegd in DNA. Voor deze hypothese is nooit overtuigend bewijsmateriaal aangedragen.

Het is echter ook mogelijk dat de herinnering wordt vastgelegd in één bepaald neuron. Om te onderzoeken of dit het geval is, heeft men geprobeerd om de leerervaringen van een proefdier uit te wissen door stukjes hersenweefsel weg te nemen. Deze pogingen om een geheugenspoor nauwkeurig te lokaliseren hadden echter geen succes. Dit wijst erop dat herinneringen vermoedelijk niet in één of enkele cellen vastliggen.

Uit recent onderzoek blijkt dat bij het onthouden van een eenvoudig visueel beeld minstens vijf miljoen neuronen zijn betrokken. Dat is een astronomisch aantal, zelfs als we bedenken dat onze hersenen meer dan tien miljard neuronen bevatten. Het is uiterst onwaarschijnlijk dat die vijf miljoen neuronen te zamen slechts één geheugenspoor kunnen opslaan. De 'opslagcapaciteit' voor leerervaringen zou dan veel te klein zijn. Men gaat er daarom van uit dat neuronen, met al hun synaptische verbindingen, *netwerken* vormen,

4



4. Klassieke conditionering wordt onder andere toegepast als we een hond leren pas na een bepaald signaal de straat over te steken.

5. De reuzeslak *Aplysia* (in het Nederlands voorzien van de voor slakken merkwaardige naam zeehaas) kan meer dan 20 cm lang worden. Het is een naakt-

slak. Hij bezit wel een schelp, maar die is zo klein dat hij onder de mantel verdwijnt.



5

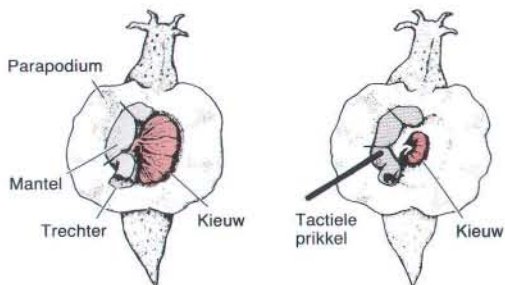
die door patronen van collectieve activiteit vele herinneringen tegelijk kunnen opslaan. Ervaringen zouden dan niet op één aanwijsbare plaats in dit netwerk aanwezig zijn, maar verspreid over de talrijke synaptische verbindingen tussen de neuronen van het netwerk, doordat deze in staat zijn elkaars activiteit onderling te beïnvloeden.

Deze theorie van de neuronale netwerken beleeft momenteel een stormachtige ontwikkeling. Ook van buiten de neurobiologie, uit de computerindustrie, bestaat interesse voor dit onderzoek. Gebleken is namelijk dat chips die werken op basis van netwerk-principes sommige taken, bijvoorbeeld patroonherkenning, veel sneller kunnen uitvoeren dan conventionele computers.

Leerprocessen in een reuzeslak

Een belangrijke aanname bij de netwerktheorie is dat de communicatie tussen neuronen, dus de activiteit van synapsen, kan veranderen als gevolg van ervaring. Dit is in grote lijnen bevestigd door het onderzoek van de Amerikaan Eric Kandel aan de zeeslak *Aplysia californica*. Toen Kandel met zijn onderzoek begon, kon hij niet bevroeden dat de kennis over dit weekdier het denken over de menselijke hersenen zou gaan beïnvloeden.

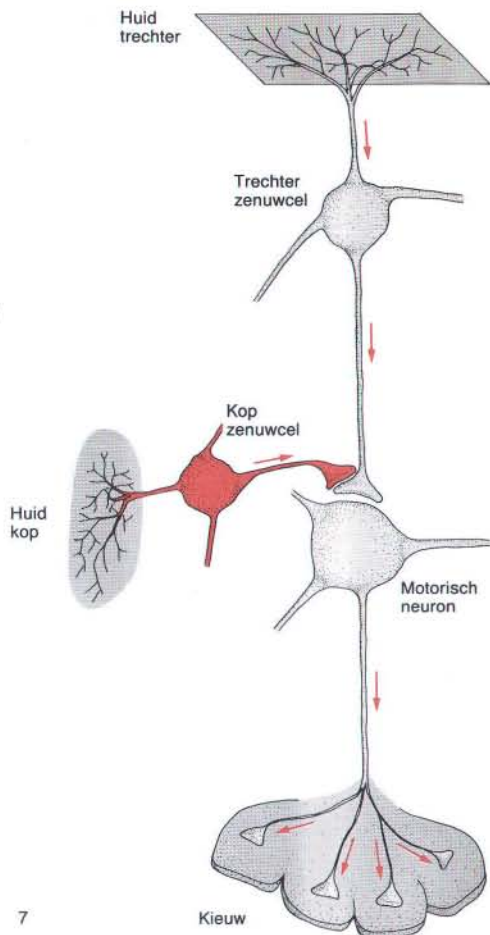
Kandel toonde aan dat *Aplysia* zijn gedrag kan aanpassen op grond van voorspelbare gebeurtenissen. Eén van zijn experimenten ging als volgt. Wanneer men de slak aan de kop een stroomstootje geeft, trekt hij zijn kieuw en



6

6. Op een opengewerkte tekening van *Aplysia* (links) zien we de kop, parapodia, mantel, trechter en kieuw. Parapodia zijn lobvormige uitstulpingen van de voet die een rol spelen bij de voortbeweging. Rechts zien we wat er gebeurt bij een dier dat geleerd heeft dat op een tik tegen de trechter een stroomstoot tegen de kop volgt: hij trekt zijn kieuw vliegensvlug naar binnen.

7. Schakelschema van de neuronen die bij *Aplysia* prikkels uit kop en trechter overdragen op motorische neuronen die de kieuwspier activeren. Let op de synaps van de kopzenuwvezel, die op die van de trechterzenuwvezel ligt.



7

mantelholte krampachtig samen. Geeft men echter een zachte tik tegen de trechter (afb. 6), dan reageert het dier niet of nauwelijks. Als nu de trechterschok herhaaldelijk wordt toegediend vlak vóór de stroomstoot, zal het dier geleidelijk leren om de schok niet af te wachten en zich direct na de tik tegen de trechter terugtrekken. Met andere woorden: de slak heeft geleerd dat een zwakke prikkel (de tik) altijd voorafgaat aan een gevaarlijke gebeurtenis (de schok). Deze vorm van leergedrag heet *klassieke conditionering* en was al bekend uit de proeven van Pavlov met honden. Het gaat hier niet om het domweg onthouden van feiten, maar om *associatief leren*: het leggen van verbanden tussen gebeurtenissen die in beginsel niet met elkaar samenhangen.

De volgende stap in Kandels onderzoek was na te gaan welke neuronen bij dit gedrag betrokken zijn. Bij *Aplysia* is dat relatief gemakkelijk te doen. Het dier heeft een heel eenvoudig zenuwstelsel, met betrekkelijk weinig neuronen die tamelijk groot zijn en in een eenvoudig functioneel verband gerangschikt zijn. Zo zijn in het *abdominale ganglion*, een groep zenuwcellen in het achterlijf, neuronen aanwezig die zintuiglijke prikkels uit de trechter en uit de kop opvangen, naast motorische neuronen die het samentrekken van de kieuw regelen (afb. 7).

De axonen van de zintuigcellen in de trechter maken synaptisch contact met deze motorische neuronen. Onder normale omstandigheden is dit contact zwak en niet van invloed op

de activiteit van de kieuwspieren. Nadere studie bracht echter aan het licht dat deze laatste neuronen via synapsen in contact staan met de synapsen van de axonen van de zintuigcellen die uit de trechter komen. We zien hier dus een synaps op een synaps (afb. 7). De axonen van de zintuigcellen die uit de kop komen kunnen daardoor de hoeveelheid neurotransmitter die vrijkomt in de synaps van de cellen uit de trechter beïnvloeden. Daarvoor moet wel aan één voorwaarde zijn voldaan. Kort voordat de kop-zintuigcellen actief worden, moeten ook de trechterzintuigcellen actiepotentialen afgeven hebben. Alleen bij deze volgorde van de activiteit wordt de synaptische overdracht voor langere tijd (soms dagen) versterkt.

Hoe de interactie tussen de twee synapsen verloopt, is nog maar ten dele bekend. Vaststaat dat zogenaamde *second messengers* (secundaire boodschappers) er een belangrijke rol in spelen. Neurotransmitters die de signaaloverdracht *tussen* cellen verzorgen worden beschouwd als de *first messengers*; second messengers verzorgen de signaaloverdracht *binnen* de cel. Ze kunnen worden gevormd nadat een transmitter aan de receptoren in de membraan van de ontvangende cel is gebonden en ze zetten deze cel bijvoorbeeld aan tot eiwitproductie, deling of het openen van een ionkanaal. De second messenger die bij *Aplysia* zijn werk doet is *cyclisch AMP* (adenosinemonofosfaat). Deze stof wordt in de motorische neuronen alleen gevormd als vlak na de tik tegen de

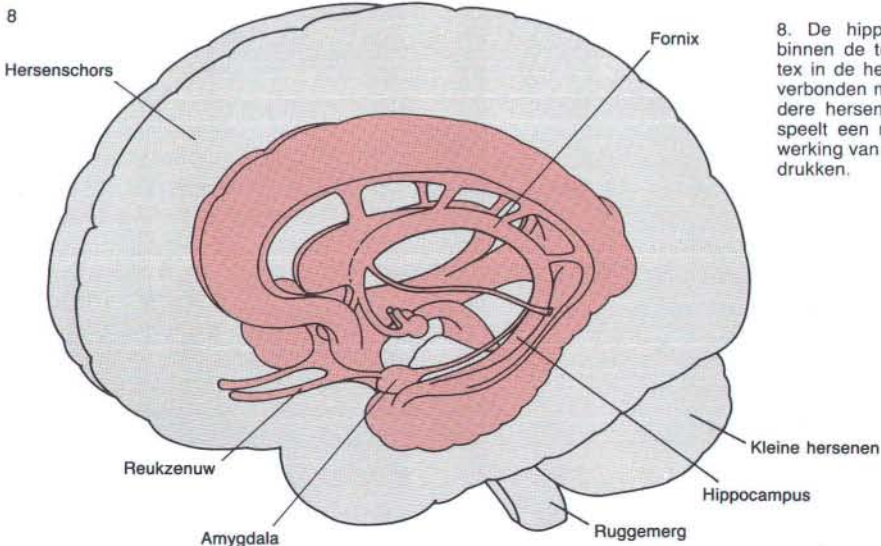
trechter het stroomstootje wordt toegediend. Afzonderlijke tikken en stroomstootjes hebben geen effect. Men neemt aan dat cyclisch AMP de neurotransmissie versterkt door in te werken op kaliumkanalen.

Ook al kennen we het precieze mechanisme nog niet, duidelijk is dat de afgifte van neurotransmitters in de synaps tussen trechtercellen en motorische neuronen veranderd kan worden. Het 'leerproces' is vastgelegd in het eenvoudige netwerk dat de neuronen uit kop en trechter en de motorische neuronen die naar de kieuwspieren lopen met elkaar vormen. Processen op submicroscopisch niveau hebben hier merkbare gevolgen voor het gedrag van de slak.

Nu is *Aplysia* een tamelijk primitief dier, met een zenuwstelsel dat de eenvoud zelf is vergeleken met dat van zoogdieren. In hoeverre bestaan schakelingen, zoals die van synaps op synaps, die door leerervaringen te beïnvloeden zijn, ook in de hersenen van zoogdieren?

De hippocampus

Eerder in dit artikel is al gemeld dat de menselijke hersenen meer dan tien miljard neuronen bevatten. Het zal duidelijk zijn dat het onbegonnen werk is om van al die cellen afzonderlijk de uitlopers te vervolgen en de functie vast te stellen. Wel kunnen we onderzoeken of bepaalde structuren in de hersenen betrokken zijn bij het opslaan van ervaringen, om vervol-



8. De hippocampus ligt binnen de temporale cortex in de hersenen. Hij is verbonden met allerlei andere hersenstructuren en speelt een rol bij de verwerking van zintuiglijke indrukken.

gens te onderzoeken of de neuronen binnen die structuren plastische eigenschappen bezitten, met andere woorden dat hun activiteit door opgedane ervaringen te beïnvloeden is.

Het onderzoek van Penfield wees al uit dat de temporale cortex een rol speelt in de opslag van herinneringen. Iets meer naar binnen in de hersenen, tegen de temporale cortex aan, ligt de *hippocampus* (afb. 8). Ook deze structuur is essentieel voor de registratie van herinneringen, vooral van de ruimtelijke omgeving. Hij is dus bijvoorbeeld nodig om de weg te vinden in een stad, waar je al eerder geweest bent.

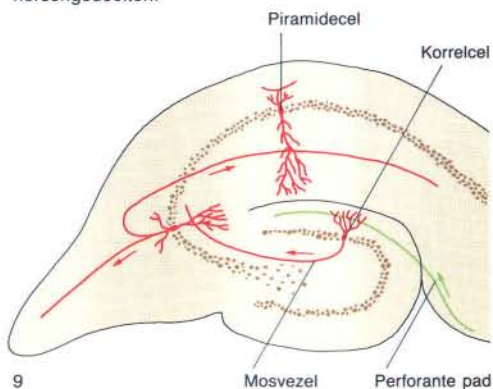
De bevinding dat de hippocampus nodig is voor de verwerking van informatie en het opslaan ervan, betekent nog niet dat de informatie ook daar wordt opgeslagen. Dat blijkt wel uit de ervaringen met patiënten met een beschadigde hippocampus. Zij hebben moeite om nieuwe ervaringen te onthouden, maar hun geheugen voor gebeurtenissen die plaatsvonden vóór de beschadiging, is nog intact.

Uit proeven met ratten en andere zoogdieren blijkt dat de hippocampus een zeer plastische structuur is. Dat maakt het de moeite waard om de synaptische verbindingen erin te onderzoeken. Voordat we op de resultaten daarvan ingaan, moeten we eerst iets zeggen over de manier waarop dergelijk onderzoek plaatsvindt.

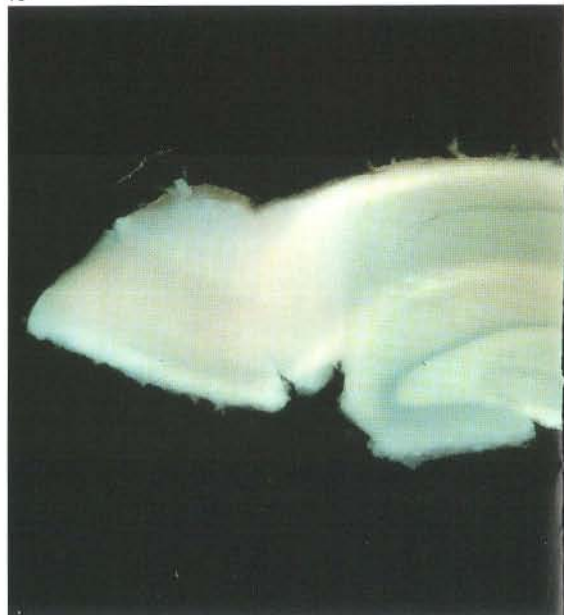
De hippocampus ziet er op het eerste gezicht uit als een kromme banaan. In afbeelding 10 zien we het beeld dat ontstaat als dwars uit de hippocampus op een willekeurige plaats een plakje wordt gesneden. Zo'n plakje kan lange tijd buiten het lichaam in leven worden gehouden door het in een bakje te leggen, waardoor een imitatie-hersenvloeistof stroomt. In het plakje zijn gebieden te onderscheiden die veel cellichamen bevatten en gebieden waarin vooral de axonen en dendriten liggen. Door elektroden op een bepaalde vezelbaan te zetten, kan men deze elektrisch prikkelen. Met andere elektroden kan het effect van deze prikkeling op andere cellen gemeten worden. Op die manier kunnen synaptische contacten tussen neuronen in het plakje opgespoord worden. Door een groot aantal opeenvolgende plakjes te onderzoeken, krijgt men een beeld van de contacten in de hippocampus als geheel. Het aanbrengen van de verschillende elektroden is een heel precies werkje, want het plakje is maar 3 mm breed en 0,4 mm dik.

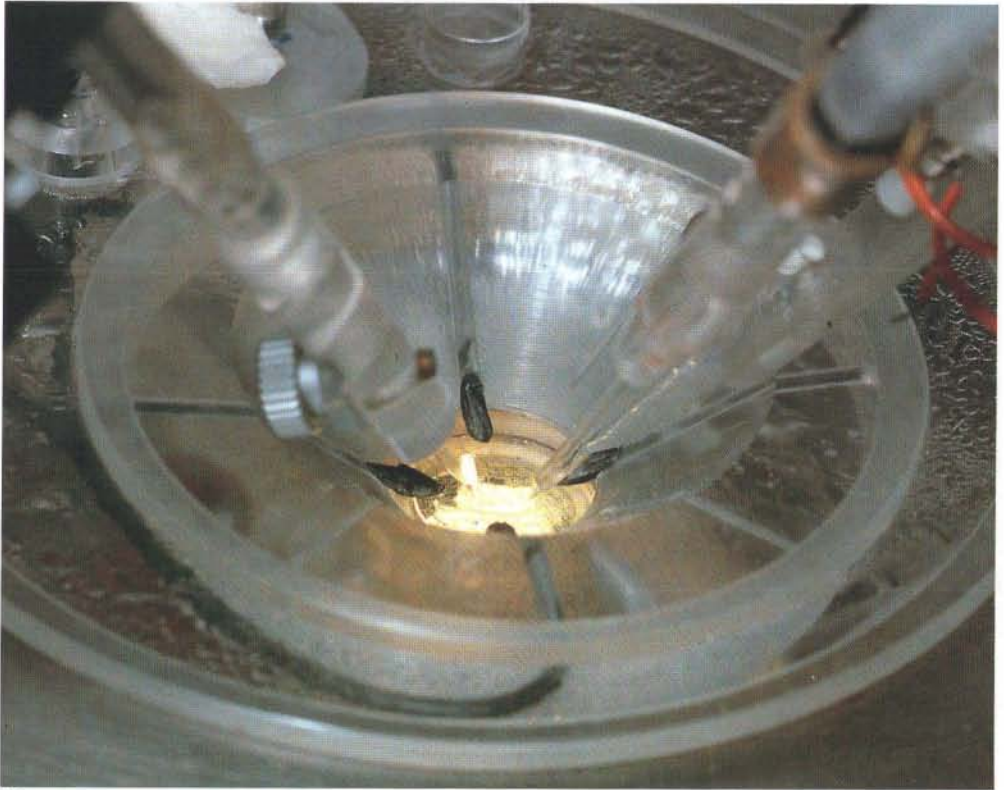
9. In een hippocampus-plakje zijn verschillende stations voor informatie-verwerking aanwezig. Signalen uit naburige hersengedeelten komen via het perforante pad de hippocampus binnen en worden synaptisch overgedragen op de korrelcellen. Van daar wordt de prikkel doorgegeven naar verschillende gebieden in de hippocampus of aangrenzende hersengedeelten.

11. Een meetopstelling voor de bepaling van de synaptische respons in een hippocampusplakje. Aan de linker staaf zit een metaalelektrode vast, waarmee het weefsel geprikkeld wordt. Rechts zien we twee houders voor zeer fijne glaselektroden, waarmee de sterkte van de respons gemeten wordt.



10





11

10. Een 0,4 mm dikke dwarsdoorsnede van de hippocampus van de rat. Een dergelijk plakje kan buiten het lichaam in leven worden gehouden. In de donkere banden liggen de cellichamen van de hippocampusneuronen bij elkaar; de axonen liggen in de lichte vezelbanen. Deze banen kunnen elektrisch geprikkeld worden. De synaptische responsen die zo aan de cellen in het plakje worden ontfutseld, vertonen grote gelijkenis met de natuurlijke prikkel-overdracht in intacte hersenen.



Lange-termijnpotentiatie

Aan het begin van een experiment wordt af en toe een stroomstootje gegeven. Daardoor ontstaan actiepotentialen die worden doorgegeven via talrijke synapsen; de synaptische respons kan met elektroden precies gemeten worden. Gewoonlijk verandert de respons niet wanneer slechts af en toe een prikkel wordt toegediend. Dit verandert als we een reeks snel opeenvolgende stroomstoten geven, bijvoorbeeld 50 per seconde. Als daarna weer af en toe een schokje gegeven wordt, blijkt de synaptische respons veel groter te zijn. Deze versterking van de respons kan dagen tot weken duren en wordt *lange-termijnpotentiatie* (LTP) genoemd.

Dit proces vertoont duidelijke overeenkomsten met de conditionering van de kieuwrespons die we bij *Aplysia* hebben gezien. Beide effecten kunnen in korte tijd worden opgewekt, maar blijven lange tijd bestaan. Daarnaast berust ook LTP op een versterking van

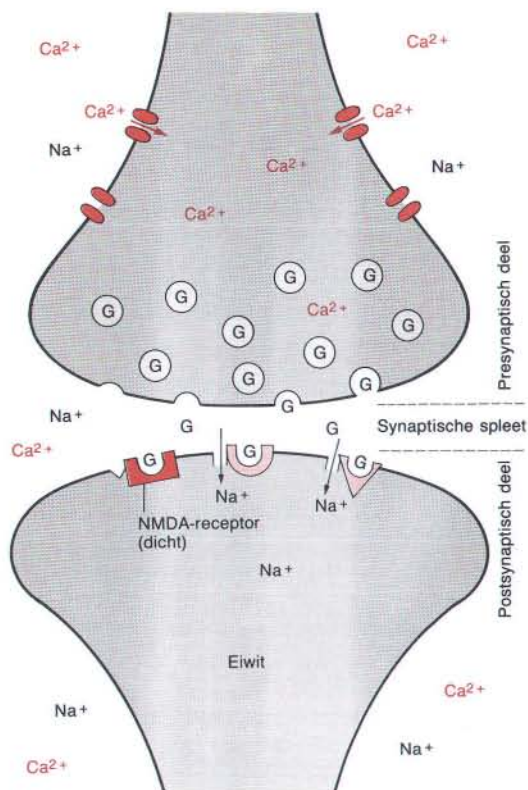


12

13. Synaptische processen in de hippocampus, wanneer het axon slechts af en toe een prikkel ontvangt. Calciumionen stromen door ionkanalen het axonuiteinde binnen en zorgen, door activatie van enzymen, voor de afgifte van de neurotransmitter glutamaat. Deze stof hecht zich aan NMDA-receptoren en niet-NMDA-receptoren, maar alleen de kanalen van de laatste gaan open, zodat natriumionen naar binnen kunnen stromen en de membraanpotential van de ontvangende cel veranderen.

12. In een hippocampus-plakje worden spanningsverschillen van een groot aantal neuronen tegelijkertijd gemeten. Uitgezet tegen de tijd ontstaat dan deze figuur. In zwart zien we de respons op één prikkel; in kleur wat er gebeurt als die ene prikkel voorafgegaan wordt door een snelle reeks stroompulsen. De respons is veel heviger en blijft dat lange tijd. Er is lange-termijnpotentiatie ontstaan.

14. Synaptische processen in de hippocampus, wanneer in het axon een hele reeks actiepotentialen is opgewekt. De receptoren in het postsynaptische deel worden dan voortdurend gebombardeerd met glutamaat, de kanalen aan de NMDA-receptoren gaan open, waardoor ook calciumionen de postsynaptische membraan kunnen passeren. Dit leidt onder andere tot de fosforylering van een aantal voor de prikkeloverdracht essentiële eiwitten. Deze fosforylering leidt uiteindelijk tot een langdurig versterkte prikkeloverdracht.

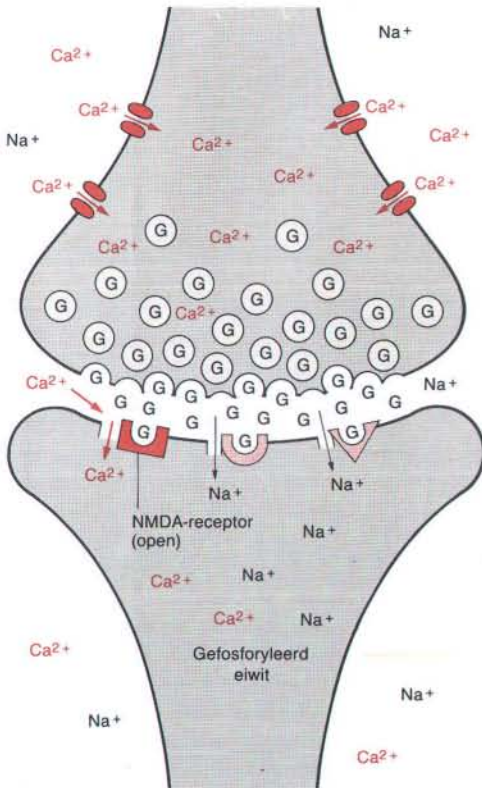


13

de impulsoverdracht in de synaps en bezit zij een aantal eigenschappen, die de basis kunnen vormen voor associatieve leerprocessen. Er bestaan echter ook duidelijke verschillen. Bovendien is een bezwaar van deze experimentele opzet, dat niet nagegaan kan worden of LTP ontstaat als het dier iets aan het leren is. Vandaar dat er nu wel aanwijzingen bestaan dat LTP samenhangt met de vorming van geheugensporen, maar dat zekerheid ontbreekt.

Wel weten we het een en ander over de processen die zich bij lange-termijnpotentiatie in de synapsen van de hippocampus afspelen. Hierbij treden duidelijke verschillen met *Aplysia* aan het licht. Bij die slak oefent de ene synaps controle uit over de activiteit van een andere. LTP blijkt te berusten op gelijktijdige activiteit in het presynaptische deel (het axonuiteinde) en het postsynaptische deel (de ontvangende cel) van de synapsen.

De meeste synapsen in de hippocampus maken gebruik van de neurotransmitter glutamaat, een aminozuur. Wanneer deze stof vrijkomt in de synaptische spleet, kan het zich aan drie soorten receptoren op de postsynaptische membraan hechten. Twee van de drie gedragen zich normaal en veroorzaken na binding van de transmitter een kortstondige verhoging van de membraanspanning. Het derde type receptor, de *NMDA-receptor*, bindt onder normale omstandigheden weliswaar glutamaat, maar het ionkanaal dat aan deze receptor vastzit gaat niet open. Dienen we echter een serie snel opeenvolgende stroomstoten toe, dan wordt dit ionkanaal met geweld geopend en stromen calciumionen in het postsynaptische deel naar binnen. De instroom van calciumionen in de ontvangende cel is een noodzakelijke stap in het ontstaan van LTP en die kan alleen gezet worden als de NMDA-receptor glutamaat bindt en het bijbehorende kanaal opengaat. Het is deze receptor die verantwoordelijk is voor de langdurige plasticiteit van de synapsen van de hippocampus.



14

Wat gebeurt er in de ontvangende cel als de NMDA-receptor en zijn kanaal geactiveerd zijn en calciumionen de dendriet binnenstromen? Aangenomen wordt dat calcium hier als een *second messenger* fungeert en bepaalde enzymen in de cel aanzet tot biochemische reacties die het lange-termijneffect bewerkstelligen. Bij de impulsoverdracht in de synaps zijn allerlei eiwitten betrokken, zoals eiwitten die betrokken zijn bij het vrijmaken van de transmitter en de eiwitten die deel uitmaken van de ionkanalen en de receptoren. De activiteit van de meeste van deze eiwitten kan worden geregeld door er fosfaatgroepen aan te koppelen (*fosforylering*). Uit proeven blijkt dat calciumionen een belangrijke rol spelen bij deze fosforylering. Omdat de LTP zo lang aanhoudt, vermoedt men dat in het cellichaam van de ontvangende cel bovendien ook bepaalde eiwitten extra aangemaakt worden.

Het NMDA-receptor-kanaalcomplex heeft nog een andere eigenschap. Activatie ervan

leidt niet alleen tot instroom van calciumionen, maar ook tot een abnormaal langdurige verhoging van de prikkelbaarheid van het neuron. Er bestaan aanwijzingen dat dit effect een rol speelt bij de explosieve hersenactiviteit die kenmerkend is voor epileptische aanvallen. Het is waarschijnlijk geen toeval dat de hippocampus, met zijn vele NMDA-receptoren, vaak de haard is van deze toevallen.

Terugblikkend kunnen we ons afvragen wat we geleerd hebben over leren sinds Penfields tijd. Bij het opslaan van een herinnering zijn waarschijnlijk miljoenen neuronen betrokken. Hierdoor is het onmogelijk om precies te bepalen waar de herinneringen zijn opgeslagen. Eenvoudige associatieve leerprocessen bij *Aplysia* en het proces van lange-termijnpotentiatie wijzen op een centrale rol van veranderlijke activiteit in synaptische verbindingen. De ontdekking van synaptische plasticiteit geeft voedsel aan de theorie dat complexe ervaringen niet verwerkt worden door individueel opererende neuronen, maar binnen het activiteitenpatroon van een neuronaal netwerk. Dat neemt niet weg dat we nog steeds geen idee hebben hoe het komt dat een simpele stroompuls in de hersenschors bij iemand de herinnering aan een boze cafébaas kan oproepen.

Literatuur

- Kandel ER. Small systems of neurons. Scientific American 1979: september, pag. 29-38.
- Kandel ER, Schwartz JH. Principles of neural science. New York: Elsevier, 1983.
- Mishkin M, Appenzeller T. The anatomy of memory. Scientific American 1987: juni, pag. 62-71.
- Sachs F. Het gevoel. Natuur en Techniek 1989: 57; 2, pag. 110-121.
- Tank DW, Hopfield JJ. Collective computation in neuron-like circuits. Scientific American 1987: december, pag. 62-70.

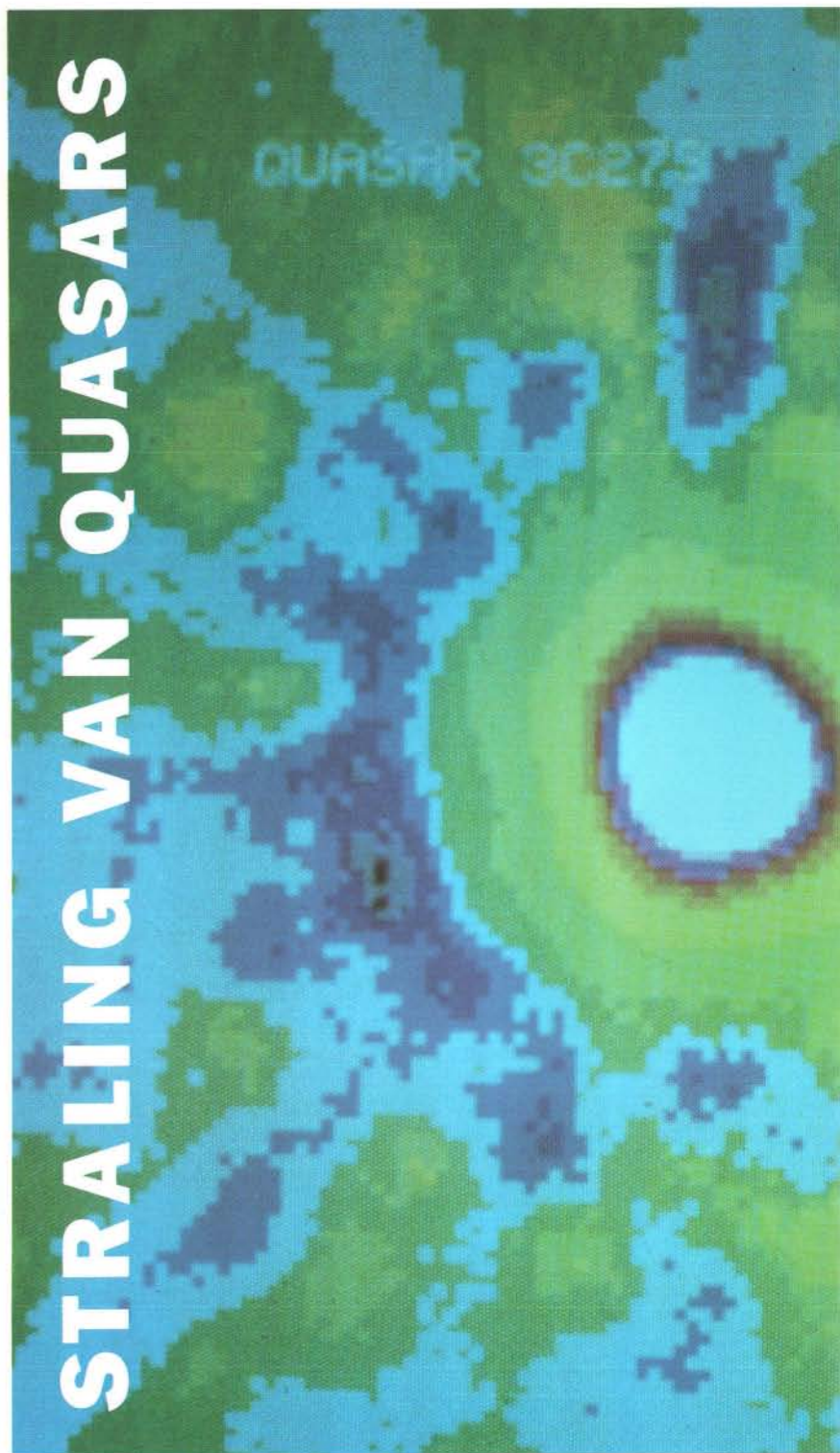
Bronvermelding illustraties

- Prof Eric Kandel, Columbia University New York: pag. 290-291, 6.
- CNRI, Parijs: pag. 291
- F. Wouterlood, M. Witter/Vrije Universiteit, Amsterdam: 1
- W. Kamphuis, E. Huisman/Universiteit van Amsterdam: 3
- A.F.M. Schoots, Nijmegen: 4

Vincent Icke
Sterrewacht Leiden

Rüdiger Staubert
Universität Tübingen

STRALING VAN QUASARS



HET OUDSTE

LICHT

Quasars zijn de verst van ons verwijderde en meest energie-rijke objecten, die wij in de ruimte kennen. Het onderzoek aan quasars is daarom van bijzondere betekenis. Het levert niet alleen meer kennis over de ontwikkeling van het heelal als geheel, maar ook over processen die zich onder extreme natuurkundige omstandigheden afspelen en waarbij zeer grote hoeveelheden energie worden omgezet. Nog zeer regelmatig ontdekt men nieuwe verschijnselen, die ons inzicht in deze wonderlijke hemellichamen verdiepen.

Een röntgenopname van de quasar 3C 273. De kleuren staan voor de intensiteit van de röntgenstraling. Van quasar 3C 273 is relatief veel bekend,

omdat deze in astronomische termen tamelijk dichtbij staat, terwijl er ook geen kosmische gas- of stofwolken tussen ons en de quasar staan.

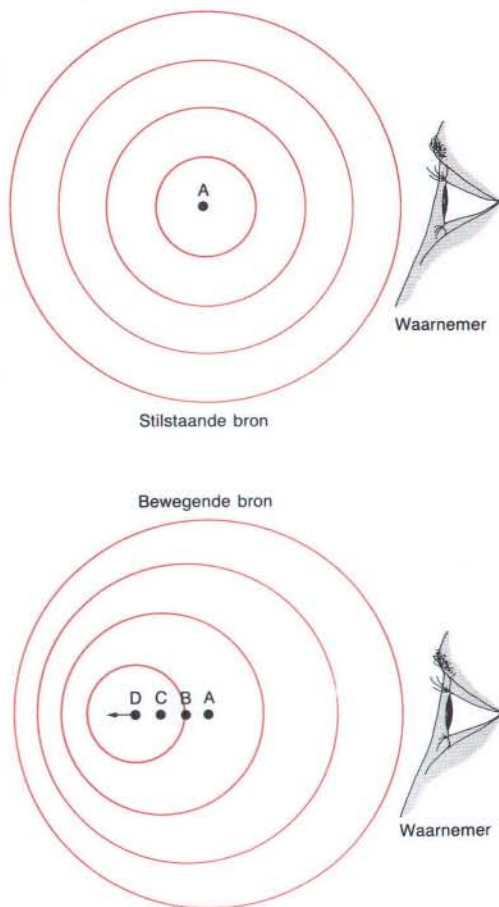
In de jaren zestig zijn de quasars ontdekt als *quasi-stellare*, dat wil zeggen puntvormige en niet van sterren te onderscheiden objecten. Zij vielen echter op, omdat uit metingen aan de spectra te concluderen was dat zij zeer ver weg staan en zich met grote snelheid van ons af bewegen. Dat sterren zich van ons af bewegen is op zich niets bijzonders: het past in het beeld van een uitdijend heelal. Quasars bleken zich echter veel sneller te verplaatsen dan de tot dan toe bekende objecten.

De snelheid waarmee een ster zich verplaatst kan worden gemeten met behulp van het *Doppler-effect*. Dit effect is waarschijnlijk het bekendst van het geluid van een voorbijrazende trein. Als de trein nadert horen we zijn geluid op een steeds hoger wordende toon, die steeds lager wordt wanneer hij voorbij is. Anders gezegd: de geluidsgolven van een naderend object hebben een hogere frequentie en dus een kleinere golflengte dan die van een object dat zich verwijderd. Het Doppler-effect treedt echter niet alleen bij geluid op, maar bij alle golfverschijnselen, dus ook bij licht.

Bij sterrenstelsels en quasars is het Doppler-effect te meten door naar het spectrum te kijken. Een dergelijk spectrum bestaat uit lijnen of banden bij heel specifieke golflengten met daartussen donkergekleurde banden. Als men bijvoorbeeld het waterstofspectrum van een ster die zich van ons af beweegt bekijkt, kan men verwachten dat het lijnen- en bandenpatroon iets is verschoven in de richting van licht met een wat langere golflengte. Men spreekt in dit verband van *roodverschuiving*. De grootte van de roodverschuiving is een maat voor de snelheid waarmee het object zich van ons af beweegt.

De beroemde Amerikaanse astronoom Edwin Hubble heeft bovendien verband gelegd tussen de grootte van de roodverschuiving en de afstand waarop een stelsel staat. Dit is de Wet van Hubble. Als men uitgaat van de oerknaltheorie, is het heelal 15 tot 20 miljard jaar geleden in een gigantische explosie, de *oerknal*, ontstaan. Met deze theorie is het uitdijen van het heelal goed te begrijpen. Dat het heelal uitdijt, blijkt uit het feit dat aan sterrenstelsels vrijwel alleen roodverschuivingen gemeten zijn en slechts zelden blauwverschuivingen, die bij naderende objecten horen.

Past men nu de Wet van Hubble op quasars toe, dan volgt uit de grootste tot nog toe waar-



genomen roodverschuiving een snelheid die overeenkomt met 96% van de lichtsnelheid en een afstand van minstens 14 miljard lichtjaar. Dit is de grootste afstand die tot nu toe in het heelal is waargenomen. Als we deze afstand opvatten als reistijd van het licht, betekent het tevens de diepste blik in het verleden, bijna tot aan het begin van het heelal.

Sommige astronomen bestrijden deze interpretatie van de roodverschuivingen van quasars vanuit de overweging dat deze objecten, als zij werkelijk zo ver verwijderd zijn, wel zeer grote hoeveelheden energie moeten afgeven om waarneembaar te zijn. Daarvoor is een lichtsterkte nodig die honderd tot duizend maal zo groot is als die van de helderste melkwegstelsels, die op hun beurt tussen de 10 en 100 miljard sterren bevatten.

1. Het Doppler-effect. Wanneer een bron golven uitzendt, of dat nu geluids-, licht-, radio- of ultraviolette golven zijn, dan kan een waarnemer die opvangen en de frequentie ervan meten. Zo lang de bron stilstaat ten opzichte van de waarnemer, zal steeds dezelfde frequentie worden gemeten. Als bron en waarnemer van elkaar af bewegen meet men een andere. De

frequentie die wordt waargenomen neemt af (onderste figuur). Met de cirkels A tot en met D zijn de golven aangegeven die de bron op tijdstippen A tot en met D uitzond. Omdat de bron steeds verder van de waarnemer afstaat, zullen de golffronten hem steeds later bereiken. Als de oorspronkelijke frequentie bekend is, kan de snelheid van de verwijdering berekend worden.

siteit daarvan kan binnen maanden, dagen en uren duidelijk veranderen. Ze zijn althans onregelmatig zichtbaar, alsof er een wolk voor de zon trekt. In twee gevallen treden de variaties nog sneller op. Bij de quasar 1525 + 227 en het Seyfert-melkwegstelsel NGC 6814 zijn duidelijke veranderingen in de röntgenstraling gevonden die binnen de 200 seconden optraden. Seyfertstelsels zijn ververwijderde spiraalvormige stelsels met een kleine zeer heldere kern, die in veel opzichten op quasars lijken.

Uit deze waarnemingen krijgt men directe informatie over de grootte van deze objecten. Stel dat bij een object de variatie één dag duurt, dan kan de doorsnede van het lichtende gebied nooit groter zijn dan één lichtdag, de afstand die het licht in één dag aflegt. Zou het gebied groter zijn, dan zouden dergelijke korte variaties, aannemend dat die in meerdere kleine deelgebieden ontstaan, uitmiddelen, zodat zij samen niet meer zichtbaar zouden zijn. De doorsnede van ons zonnestelsel is ongeveer een halve lichtdag. In een gebied dat dus pak-weg twee keer zo groot is als ons zonnestelsel, worden bronnen die de lichtsterkte van miljarden zonnen hebben, in korte tijd 'aan-en-uitgezet'.

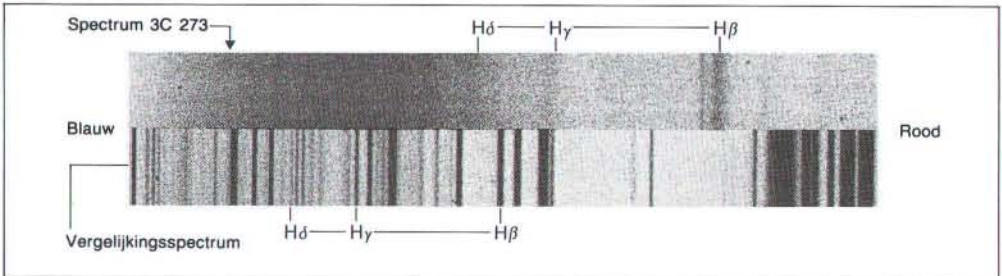
Men gaat ervan uit dat quasars zeer energierijke kernen van melkwegstelsels zijn. Dat ligt ook voor de hand, gezien hun gelijkenis met de Seyfert-melkwegstelsels. Melkwegstelsels met extreem heldere kernen, die op zeer grote af-

Het lijkt er evenwel op, dat wij aan het bestaan van dergelijke lichtsterkten zullen moeten wennen. Van sommige quasars is vastgesteld dat hun licht onder invloed van de zwaartekracht van grote veraf staande melkwegstelsels wordt afgebogen, wat alleen maar kan als de quasar ver achter zo'n stelsel staat. Bovendien bestaat in het heelal een diffuse achtergrondstraling in het röntgengebied, die wellicht wordt veroorzaakt door een groot aantal nog niet uitgedoofde quasars, die dan zeer ver weg moeten staan.

Quasars en melkwegstelsels

Een typische eigenschap van quasars is de duidelijke variabiliteit van hun straling. De inten-

2

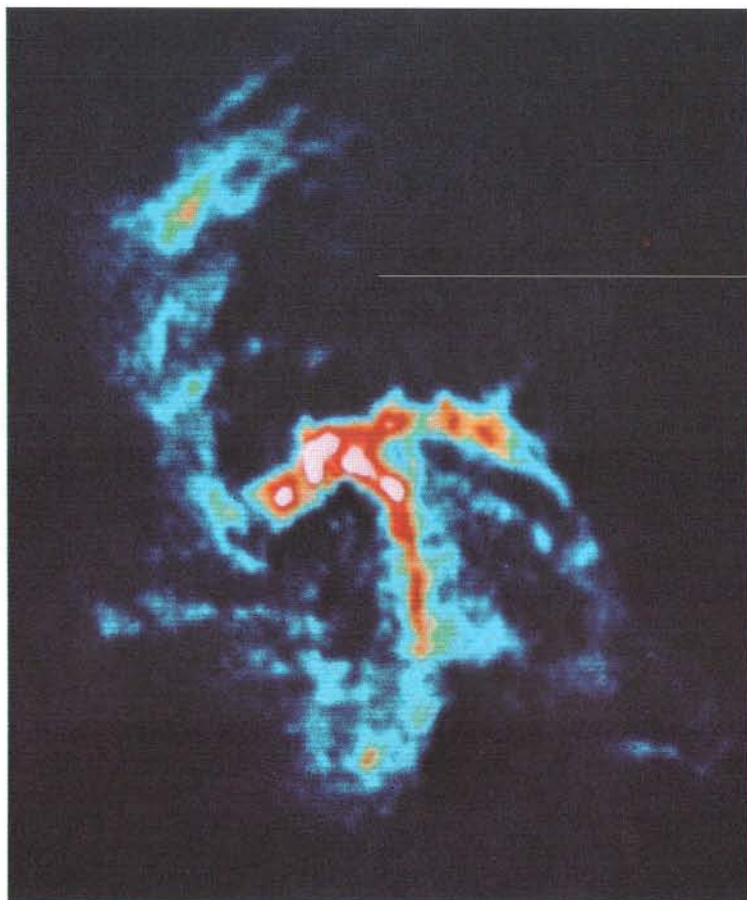


2. Spectraalverschuiving als gevolg van het Doppler-effect. De bovenste balk is het spectrum van quasar 3C 273; daaronder een vergelijkingsspectrum van een laboratoriumlamp, waarbinnen een aan-

tal lijnen uit het spectrum van waterstof zijn aangegeven (H_δ , H_γ en H_β). Deze zijn ook in het spectrum van de quasar aanwezig, maar bij een golflengte die ongeveer 15% groter is of, anders gezegd, naar het

rood is verschoven. Op grond hiervan is uitgerekend dat de quasar op ongeveer drie miljard lichtjaren van ons staat en zich met een snelheid van $45.000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ van ons af beweegt.

3. Opname van een Seyfert-stelsel, dat wellicht een zwart gat in het midden bevat. De opname is gemaakt met de Very Large Array in New Mexico. Duidelijk zichtbaar zijn drie spiraalarmen, die naar het centrum wijzen.



3

standen staan, zullen altijd als puntbronnen waargenomen worden, de klassieke verschijningsvorm van de quasar. Het buitenste deel van een dergelijk stelsel is dan in het algemeen niet te herkennen, deels omdat de schijnbare grootte zeer klein is; deels omdat de zeer heldere kern al het andere overstraalt. Inmiddels is het echter met moderne optische middelen gelukt om bij een aantal quasars een zwakke omringende structuur aan te tonen. Ook van de zogenaamde *BL-Lac-objecten*, die veel overeenkomsten met quasars vertonen, is aangetoond dat zij in het centrum van ellipsvormige melkwegstelsels liggen. Misschien zijn de verschillende vormen van *actieve melkwegstelsels*, zoals wij dergelijke bronnen met actieve kernen noemen, verschillende fasen in de ontwikkeling van melkwegstelsels.

Stralingsbronnen

Voor het opwekken van de geweldige hoeveelheden energie van quasars komt maar één mechanisme in aanmerking, de *zwaartekracht*. Alle andere processen die zich in sterren kunnen afspelen, zoals kernreacties in hun binnenste, zijn niet effectief genoeg.

Zwaartekrachtenergie komt vrij wanneer een compact object een grote hoeveelheid massa opslukt. Dit noemt men *accretie* (zie Intermezzo). Dergelijke slokken zouden zwarte gaten kunnen zijn die in de kernen van melkwegstelsels voorkomen, ongeveer 100 miljoen zonsmassa's groot zijn en per jaar enige zonsmassa's aan materiaal 'verorberen'. Het bestaan van deze zwarte gaten is dus méér dan louter theorie.

Accretie en straling

Als je een glas op de grond laat vallen spat het onder luid gerinkel in stukken. Dat kost energie. Tijdens de val beweegt het glas, daarna liggen de scherven stil: de bewegingsenergie is grotendeels gebruikt om het glas te versplinteren. Op haar beurt is de bewegingsenergie onttrokken aan de energie van het zwaartekrachtsveld tussen aarde en glas.

In het heelal treden vergelijkbare processen zeer vaak op, en vaak op bijzonder grote schaal. De omzetting van zwaartekrachtenergie in andere vormen gebeurt tijdens een proces dat *accretie* heet.

Accretie is een zeer belangrijk astrofysisch verschijnsel. De vorming van bijna alle massaconcentraties in het heelal, van sterrenstelsel via sterren tot planeten en hun manen, gebeurt via accretie. Bij accretie wordt materie samengetrokken en de meeste aldus gevormde objecten zijn schijfvormig, althans sterk afgeplat. Dat dat zo is, kan als volgt begrepen worden. Een roterende gaswolk met massa m en straal R , draaiend met een snelheid v heeft een impulsmoment $J = mvR$. De wet van behoud van impulsmoment schrijft voor dat J niet kan veranderen zonder ingreep van buitenaf. Het impulsmoment verandert ook niet als de wolk onder invloed van zijn eigen zwaartekracht samentrekt. Als dat gebeurt zal de rotatiesnelheid v toenemen bij een kleinere straal van de wolk. Het geheel gaat sneller draaien en neemt al spoedig een schijfvorm aan, terwijl toch het produkt vR constant blijft.

De zwaartekracht tracht een kosmische wolk steeds kleiner te maken, maar daardoor neemt de draaiing almaar toe. Op een bepaald moment zal de

snelle draaiing de samentrekking tot staan brengen; er is dan evenwicht tussen de naar binnen gerichte zwaartekracht en de naar buiten gerichte centrifugaalkracht. Iets dergelijks zien we bij de beweging van de planeten, die immers niet in de zon vallen. Omdat de planeten in hun baan vrijwel geen weerstand ondervinden, kunnen zij miljarden jaren om de zon blijven draaien.

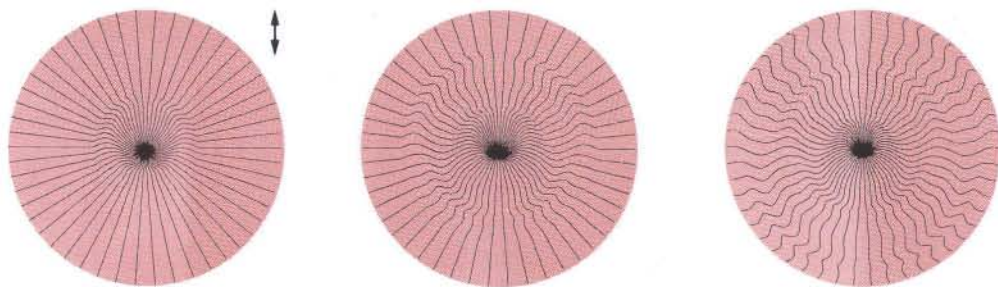
In een kosmische gaswolk is de situatie echter anders vanwege de onderlinge wrijving van de gasdeeltjes. Bovendien roteert de gaswolk niet als een vaste schijf, maar hebben de deeltjes aan de buitenkant een lagere baansnelheid dan het meer naar binnen gelegen materiaal (Derde Wet van Kepler).

Wanneer twee gasdeeltjes in zo'n accretieschijf tegen elkaar botsen, zal het langzaamste (= buitenste) bij de botsing snelheid winnen, terwijl het snelste (= binnenste) snelheid verliest. Dit verbreekt het centrifugale evenwicht, wat alleen kan worden hersteld als het binnendeeltje een baan gaat beschrijven die verder naar binnen ligt. De botsingen veroorzaken wrijving. Zoals een aardsatelliet uiteindelijk door atmosferische wrijving naar de aarde terugvalt, veroorzaakt de gaswrijving in de accretieschijf een langzame instroming van gas naar het midden. Wat gebeurt daar? Tijdens de vorming van de zon en soortgelijke sterren verzamelt de massa zich totdat de temperatuur en de druk in het centrum hoog genoeg is om kernfusie van waterstof tot stand te brengen. Zodra dat punt is bereikt, heeft zich in het schijfcentrum een ster gevormd die het gas van de accretieschijf begint weg te blazen.

I-1



I-1. Op deze opname van een sterrenstelsel is de schijfvorm prachtig te zien, omdat we tegen de rand ervan aankijken. De schijf draait rond een massaconcentratie in het centrum, onder invloed van de zwaartekracht daarvan. De schijf wordt echter in stand gehouden door de middelpuntvliedende kracht die op de roterende deeltjes werkt.



I-2

De temperatuur in het schijfcentrum neemt toe om dezelfde reden als waarom het glas breekt: zwaartekrachtenergie wordt omgezet in bewegingsenergie, ofwel warmte. Bij accretie beweegt het gas zich naar binnen, zolang er wrijving is tussen naburige gasdeeltjes. Die wrijvingsenergie wordt voor een deel gebruikt om het centrum van de schijf te verhitten en voor een deel uitgestraald.

Accretie treedt ook op wanneer gas wordt aange trokken door een massief object, zoals een *neutronenster* of een *zwart gat*. Ook bij accretie door een zwart gat, van waaruit zelfs geen licht kan ontsnappen, wordt waarneembare energie geproduceerd. Voordat de gasdeeltjes, die bijna de lichtsnelheid hebben, door het zwarte gat worden opgeslokt, treedt een grote onderlinge wrijving op. Het is als bij paniek in de bioscoop: alle deeltjes bewegen zich in dezelfde richting naar een zeer kleine doorgang en lopen elkaar onder de voet.

Accretie is een zeer efficiënt proces. Bij de kernfusieprocessen die sterren doen stralen wordt minder dan één procent van de deelnemende massa in energie omgezet. Bij accretie bij neutronensterren is dat al 10% en bij zwarte gaten zelfs 40%. Daarom is accretie de waarschijnlijkste energiebron voor de meest gewelddadige astrofysische processen.

Supernova's bijvoorbeeld ontstaan als een oude zware ster ineenstort. Daarbij komt in een paar milliseconden zoveel zwaartekrachtenergie vrij, dat de buitenste delen van de ster met snelheden van tienduizenden kilometers per seconde worden weggeslingerd. In de kernen van quasars en andere actieve melkwegstelsels bevinden zich waarschijnlijk zwarte gaten met een massa van vele miljoenen zonsmassa's. Deze kunnen omringend gas en zelfs hele sterren verslinden. Via het genoemde 'paniekproces' wekt accretie zoveel energie op, dat soms hele zonsmassa's per jaar in energie wordt omgezet.

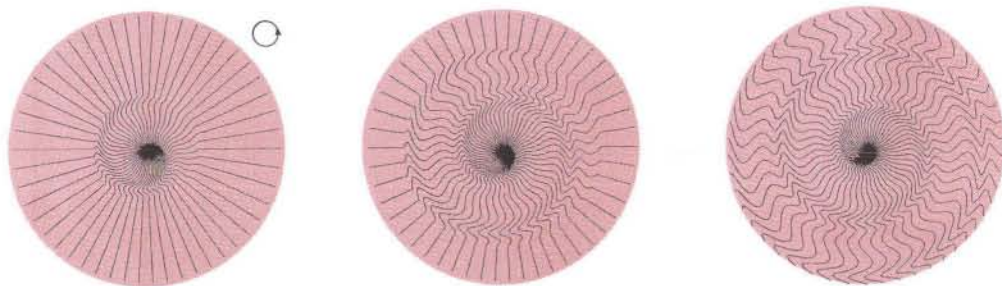
I-4



I-2. Het elektrisch veld van een lading die een harmonische trilling uitvoert. De trillingsbeweging is verticaal (pijlje). Merk op hoe de veldversterking zich naar buiten toe uitbreidt. In de richting van de trilling is de rimpeling van het veld gering; in die richting wordt weinig straling uitgezonden. Loodrecht op de trilling, dus in horizontale richting, is de vervorming het sterkst en de straling het meest intens.

I-3. Het elektrisch veld van een lading die eenparig in een cirkelbaan roteert. Hier breidt de straling zich in alle richtingen even sterk uit.

I-4. Een fraaie opname van een accretieschijf, waar we bovenop kijken.



I-3

Stralingsprocessen

Hoe kan de chaotische energie die door wrijving bij accretie ontstaat, worden afgevoerd? De enige manier waarop voldoende energie per tijdseenheid kan worden verwijderd is via *elektromagnetische straling*. Er zijn veel verschillende namen voor allerlei stralingsprocessen, doch deze zijn slechts varianten van eenzelfde mechanisme.

Om straling te begrijpen, hoeven we in eerste instantie maar twee dingen te weten: er bestaan elektrisch geladen deeltjes en niets kan sneller bewegen dan het licht. Stel, we nemen een elektron en tekenen daarvan de elektrische veldlijnen. Zolang het elektron eenparig rechtlijnig beweegt, gebeurt er niets: alle veldlijnen bewegen met dezelfde snelheid met het elektron mee. Stel nu dat het elektron wordt versneld, dat wil zeggen dat de grootte of de richting van de beweging verandert, bijvoorbeeld doordat het elektron heen en weer trilt. In dat geval worden de veldlijnen verbogen, ongeveer zoals een touw dat met de hand op en neer wordt gewiept. Omdat de veldkronkel zich niet oneindig snel kan voortplanten, immers niets beweegt sneller dan het licht, zien we dat een versnelde lading een veldverstoring opwekt die zich van de lading af beweegt. In vacuüm gebeurt dat met de lichtsnelheid. Op grote afstand van de versnelde lading is de veldverstoring meetbaar als elektromagnetische straling. Dit mechanisme geldt voor alle velden, dus ook voor magnetische en zwaartekrachtvelden.

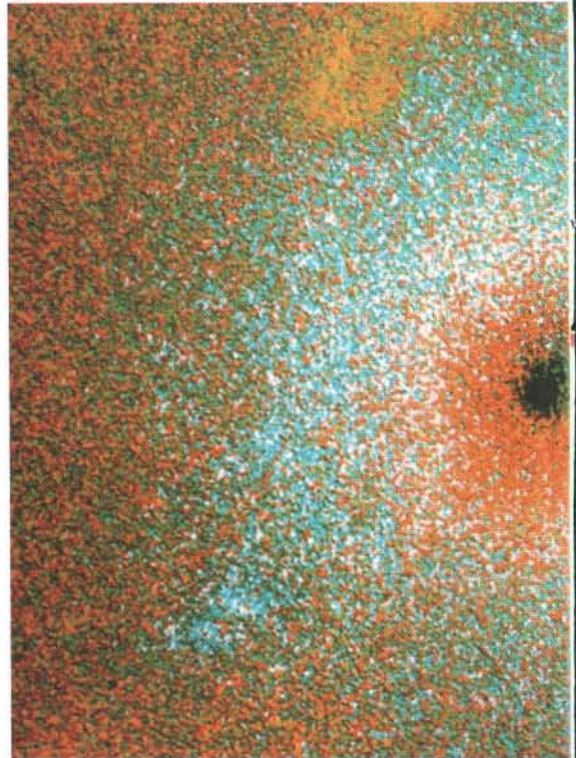
Op bovenstaande wijze wordt een deel van de chaotische energie van geladen deeltjes overgedragen op het elektromagnetische veld. De vrijkomende straling onttrekt daarbij energie aan de deeltjes. In een accretieschijf wordt als gevolg van dit mechanisme zwaartekrachtenergie uitgezonden als straling, immers door de zwaartekracht worden geladen deeltjes versneld.

De eigenschappen van de straling die we op aarde kunnen meten, hangt af van de manier waarop de elektronen worden gejonast. In afbeelding I-2 zien we het ontstaan van een stralingsfront wanneer een elektron in een gelijkmatige (sinusoidale) beweging heen en weer trilt. In de richting van de trilling zien we dat de veldlijnen nauwelijks gerimpeld zijn, terwijl in de richting loodrecht op de beweging het veld duidelijk heen en weer slingert. Dit is karakteristiek voor dipoolstraling. Afbeelding I-3 toont het gedrag van de veldlijnen van een elektron dat een regelmatige cirkelbaan beschrijft. De veldrimpels breiden zich naar alle kanten even sterk uit.

De vorm van de veldverstoring is in beide gevallen duidelijk anders. Sommige details van het versnelingsproces zijn nog herkenbaar in het stralingsveld. Dit is erg nuttig, want zo kan men in de astrofysica de beweging van geladen deeltjes reconstrueren uit de eigenschappen van de straling. Het stralingsspectrum geeft ons informatie over de toestand in het hete gas in de schijf rond een zwart gat.

Stel dat een accretieschijf een magnetisch veld bevat. Dat veld wordt met de geladen deeltjes meegesleept naar het centrum van de schijf. Daardoor wordt het veld samengeperst en neemt de veldsterkte toe. Een elektron in een homogeen magnetisch veld beweegt zich in een cirkel en zendt dus straling uit volgens het patroon van afbeelding I-2. Dit type straling noemt men *synchrotronstraling*; het is kenmerkend voor actieve sterrenstelsels als quasars. Andere vormen van straling zijn *thermische straling*, die wordt uitgezonden door een verzameling oscillerende elektronen, zoals in afbeelding I-3, en *remstraling*, die ontstaat wanneer een snel bewegend elektron plotseling van koers verandert door een botsing met een ander deeltje, bijvoorbeeld een proton. Door de aard van de straling kunnen we dus afleiden welk mechanisme haar heeft opgewekt.

De vraag naar het mechanisme dat de omzetting van zwaartekrachtenergie in stralingsenergie bewerkstelligt, is moeilijker te beantwoorden. In elk geval krijgt het materiaal dat in het zwarte gat 'valt' een zeer hoge snelheid. Vooral in aanwezigheid van een magnetisch veld kunnen daardoor turbulenties en schokgolven ontstaan, waardoor plasmawolken in de omgeving van het zwarte gat, die louter uit geïoniseerde deeltjes bestaan, tot temperaturen tussen één en tien miljard graden worden verhit en elektronen worden versneld tot snelheden in de buurt van de lichtsnelheid. De radiostraling en het zichtbare licht die door een quasar worden uitgezonden, ontstaan vermoedelijk wanneer de zeer energierijke elektronen in het magnetisch veld worden afgeremd, terwijl het licht bovendien kan ontstaan door wisselwerkingen van geïoniseerde deeltjes die met hoge snelheid langs elkaar bewegen. De ultraviolette straling zou in feite zwart-lichaamstraling kunnen zijn met een karakteristieke temperatuur in de grootte-orde van 10 000 graden. De röntgenstraling tenslotte kan ontstaan als gevolg van het omgekeerde Comptoneffect, waarbij hoogenergetische elektronen hun energie overdragen op laagenergetische fotonen.



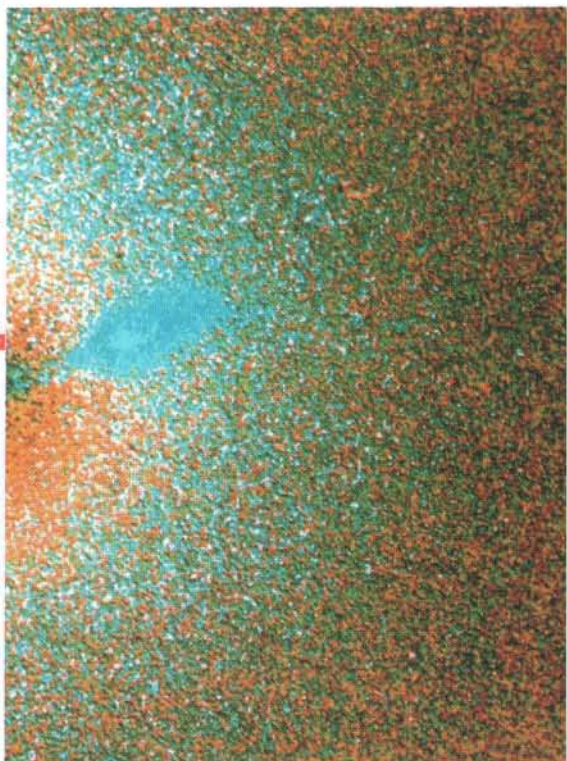
5

4

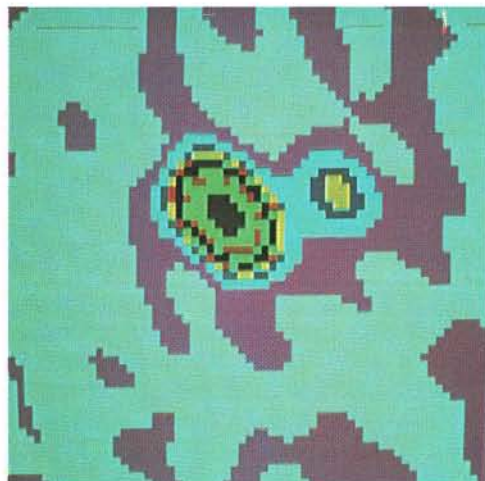


4. De gondel met de röntgentelescoop HEXE (High Energy X-ray Experiment) wordt in gereedheid gebracht om aan een ballon te worden opgelaten, en van grote hoogte waarnemingen te verrichten aan quasar 3C 273.

5. Een fraaie opname van een melkwegstelsel (M 87), waarin ook een jet te zien is. De precieze aard van zo'n jet is nog niet opgehelderd, maar vermoedelijk gaat het om smalle bundels gas die zich ongeveer met de lichtsnelheid vanuit het centrum van het stelsel bewegen.



6. Op deze opname van quasar 0957 + 561 is duidelijk een dubbele structuur te zien. Het is echter maar de vraag of dit ook een dubbele quasar is. Licht van een quasar wordt soms door een zwaar hemellichaam afgebogen, zodat een dubbel beeld van één object ontstaat.



6

Op zoek naar quasars

Quasars zijn in veel opzichten interessante objecten. Tot nog toe zijn er 1500 geïdentificeerd. De meeste zijn gevonden door systematisch de hemel af te zoeken met radio-, licht- en röntgentelescopen. Tot nog toe is echter slechts een klein deel van de hemel onderzocht. Voorzichtige schattingen leveren op dat per vierkante graad aan de hemelbol ongeveer tien quasars met een optische helderheid groter dan de twintigste grootteklasse moeten staan. Hoe groter de grootteklasse, des te zwakker de ster; een ster van grootteklasse a is ongeveer 2,5 maal zo sterk als één van klasse $a + 1$. Als deze schatting klopt, moeten er meer dan 400 000 quasars zijn. Daarnaast zijn er ongetwijfeld nog quasars met een straling die zo zwak is, dat ze nog niet zijn ontdekt.

Waarnemingen met de Amerikaanse röntgensatelliet Einstein hebben aangetoond dat ongeveer 75% van de quasars veel röntgenstraling uitzenden. Het zoeken naar quasars ge-

beurt daarom het meest efficiënt met röntgentelescopen. In 1990 zal de Duitse röntgensatelliet ROSAT gelanceerd worden, die als eerste in staat zal zijn de hele hemel op bronnen van laagenergetische röntgenstraling af te zoeken. Door de grote gevoeligheid van de instrumenten aan boord verwacht men dat de satelliet meer dan 100 000 actieve melkwegstelsels, waaronder quasars, zal ontdekken.

3C 273

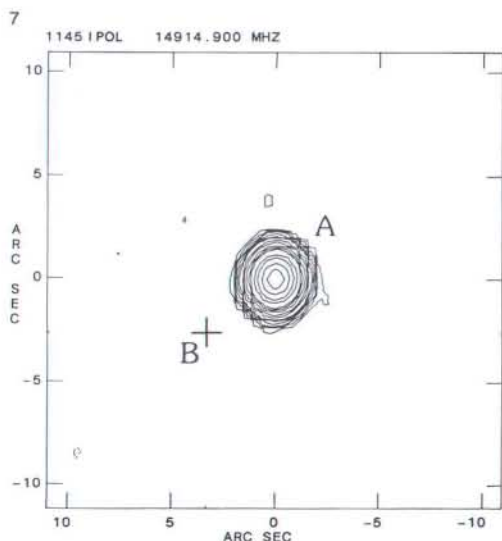
Een goed voorbeeld van een quasar is object 3C 273. In eerste instantie als bron van radiostraling ontdekt, werd het als eerste quasar geïdentificeerd. 3C 273 vertoont alle eigenschappen van een typische quasar en een actief melkwegstelsel. Metingen aan de radiostraling verraden een dubbele structuur die zich uitbreidt met een snelheid die groter lijkt te zijn dan de lichtsnelheid, een fenomeen dat ook bij een tiental andere radiobronnen is waargenomen. Zoals alle actieve melkwegstelsels ver-

toont 3C 273 *jets*. Waarschijnlijk zijn dit smalle bundels gas die zich met snelheden van bijna de lichtsnelheid verplaatsen. Het object straalt ook veel ultraviolette en röntgenstraling uit en 3C 273 is de enige tot nu toe bekende bron van hoogenergetische gammastraling buiten ons melkwegstelsel. Tenslotte is de straling in alle frequenties zeer veranderlijk. Dat wij zoveel van 3C 273 weten, danken wij aan het feit dat deze quasar zeer lichtsterk is en relatief dichtbij staat, op 'slechts' 2,3 miljard lichtjaar. Bovendien blijkt uit de spectra van deze bron dat we er onbelemmerd zicht op hebben; er bevinden zich geen stof- of gaswolken in de ruimte tussen ons en de quasar.

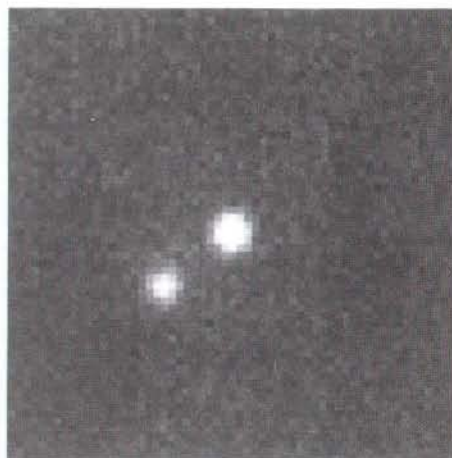
Het Max-Planck-Instituut voor Buitenaardse Natuurkunde in Garching en het Astronomisch Instituut in Tübingen hebben gezamenlijk waarnemingen aan 3C 273 gedaan bij straling met extreem hoge röntgenenergie, dus met een extreem korte golflengte. Eerdere waarnemingen bij dergelijke golflengten aan andere objecten leverden een beeld op dat goed past bij de hierboven beschreven theorie: een zwart gat van ongeveer 100 miljoen zonsmassa's, omringd door een roterende schijf gas die zwakke röntgenstraling uitzendt. Vanaf de



8



7. De eerste echt binaire quasar is in 1986 waargenomen. Links zien we een kaart waarop de radiosignalen van de beide bron-



nen zijn getekend, rechts een opname in zichtbaar licht. Alleen de helderste van de twee objecten zendt radiostraling uit. Bei-

de bronnen verschillen, zodat men zeker weet dat het om twee verschillende quasars gaat, die vrij dicht bij elkaar moeten liggen.



8. Sommige astronomische waarnemingen kunnen sterk gehinderd worden door atmosferische verschijnselen. Om deze uit de weg te gaan, worden de instrumenten aan boord van satellieten gebracht. Goedkoper is het echter om ze aan een ballon in de stratosfeer te brengen. Op die manier zijn bijvoorbeeld de röntgenobservaties aan quasar 3C 273 uitgevoerd.

binnenste rand van de schijf wordt het zwarte gat met materiaal 'gevoed' en dat is ook de plaats waar de zwaartekrachtenergie vandaan komt en zich de hete gasbellen vormen waarin door het Comptoneffect röntgenstraling ontstaat. De temperatuur op die plaats was bij deze objecten zo'n 15 miljoen graden.

Doel van de waarneming aan 3C 273 was om na te gaan of dat beeld hier ook opgaat en om een nauwkeurig röntgenspectrum te maken, dat meer kennis over de aard van de processen in de quasar zou kunnen opleveren. Als gevolg van het Comptoneffect is namelijk te verwachten dat de intensiteit van de straling bij zeer hoge energieën drastisch afneemt. De eerdere metingen waren echter niet nauwkeurig genoeg om dat effect te bevestigen.

Als instrument voor de nieuwe waarnemingen is de uiterst gevoelige telescoop HEXE (*High Energy X-ray Experiment*) gebouwd, die met een ballon werd opgelaten en gedurende vier uur vanaf een hoogte van 46 km waarnemingen aan 3C 273 verrichtte.

Het resultaat van deze onderneming was tegelijkertijd teleurstellend en opwindend. Het gevonden röntgenspectrum bleek veel vlakker te zijn dan werd verwacht, terwijl bovendien de verwachte daling van de intensiteit bij zeer korte golflengten niet werd gevonden. Als dit spectrum geheel door het Comptoneffect zou zijn veroorzaakt, dan zou de temperatuur van de elektronenwolk geen 15 miljoen, maar 100 miljoen graden moeten bedragen, dus ongeveer zes maal zo hoog zijn als de eerste metingen aangaven. Daarom kan niet uitgesloten worden dat er nog andere mechanismen in het spel zijn, die de röntgenstraling veroorzaken. Al met al bleek de hoeveelheid röntgenstraling met hoge energie twee tot vier maal zo groot te zijn als op grond van de eerdere metingen werd verwacht.

Betekent dit resultaat nu dat alle bestaande opvattingen over de natuurkunde van quasars verkeerd zijn? Vermoedelijk niet. Enkele algemene veronderstellingen zullen nog wel juist zijn, maar de details van het proces waarbij de straling ontstaat kunnen toch anders zijn dan we dachten. Nieuwe theoretische modellen zullen moeten worden opgesteld en door verdere waarnemingen bevestigd.

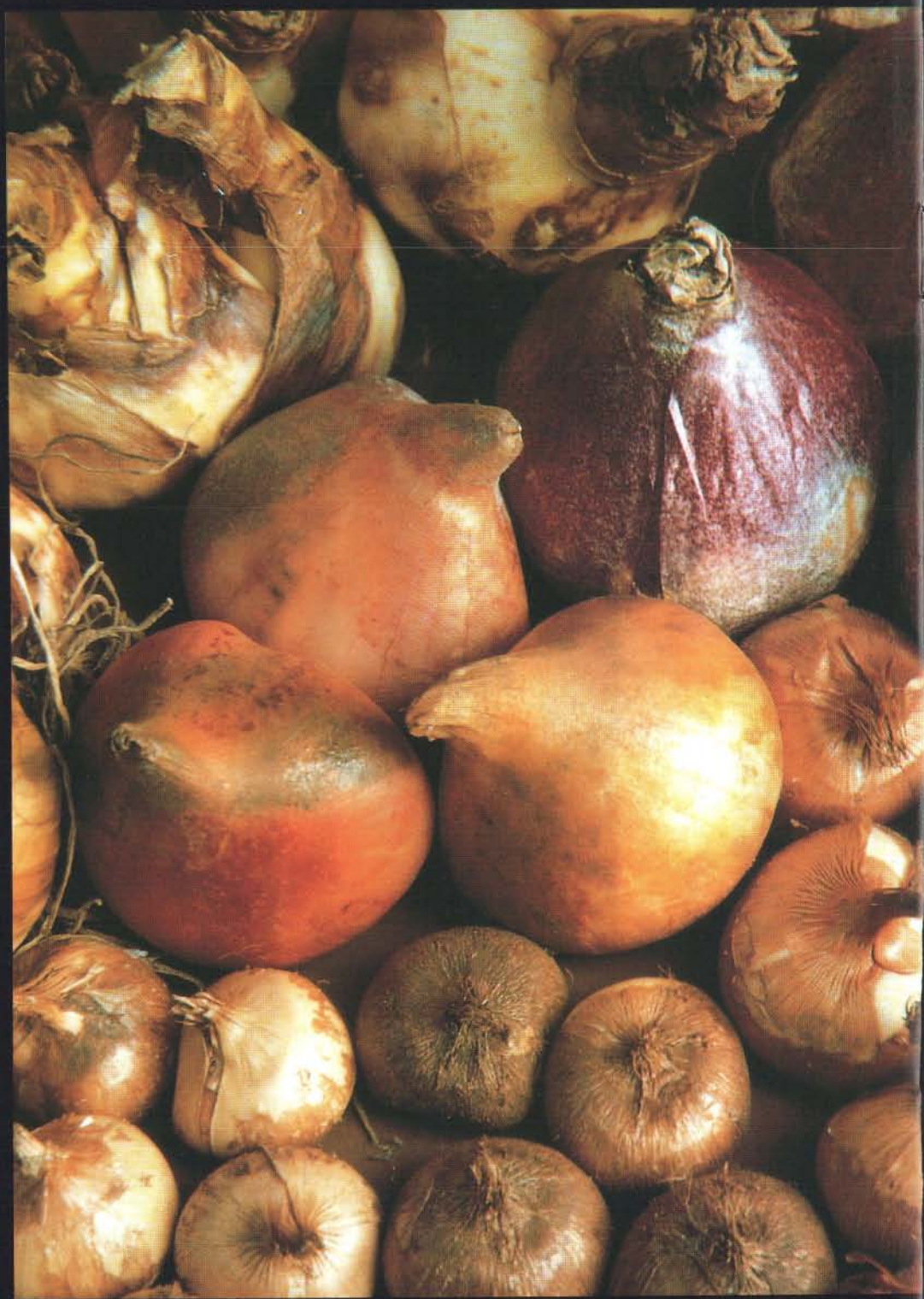
Dit artikel is een bewerking van een artikel dat eerder verscheen in de *Mitteilungen* van de Deutsche Forschungs Gemeinschaft. Het werd voor ons vertaald door drs H. Brinks.

Literatuur

- De Loore CWH. Simultaantechnieken in de astronomie - Het heelal door vele ogen bekeken. *Natuur en Techniek* 1984; 52; 4, 300-319.
Wesselius PR. A star is born - IRAS-resultaten krijgen vorm. *Natuur en Techniek* 1988; 56; 10, 786-797.
Weinberg S. De eerste drie minuten. Maastricht: *Natuur & Techniek*, 1983.

Bronvermelding illustraties

- University of Leicester: pag. 302-303.
Uit: Weinberg S. De eerste drie minuten: 2.
Jet Propulsion Laboratory, Pasadena: 3.
US Naval Observatory. 1-1.
Hale Observatories: 1-4.
Astronomisches Institut, Tübingen: 4.
Dr J.J. Lokke: 5.
D.H. Roberts, P. Greenfield, D.F. Burke: 6.
ESO, Garching: 7.
NASA, Washington: 8.





W.J. de Munk

Laboratorium voor Bloembollenonderzoek
Lisse

BOL

BLOEMEN

iedere dag lente

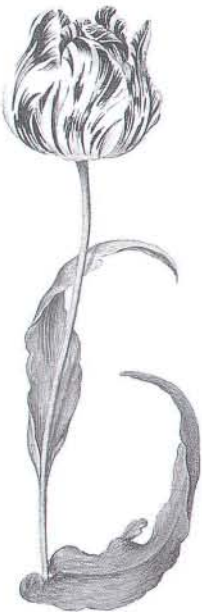
Heeft u zich wel eens afgevraagd, hoe het mogelijk is dat u in december een bos tulpen kunt kopen? Sterker nog, het hele jaar door zijn er bij de bloemist tulpen te koop, terwijl de tulpen in uw tuin voorjaarsbloemen zijn. Hetzelfde geldt voor hyacinten, narcissen, irissen en lelies. Bloeispreiding over het hele jaar is een staaltje vakmanschap van Nederlandse tuinders, waarmee wereldfaam is verworven. Basis voor deze jaarrondproductie is kennis van de eigenschappen van bolplanten. De afwisseling van groei- en rustperioden van de planten, onder invloed van de temperatuur is daarbij erg belangrijk. Door gebruik te maken van de natuurlijke eigenschappen, maar het seizoen kunstmatig aan te passen door temperatuurbehandelingen, is de bloeispreiding mogelijk.

Bolgewassen weten water en voedsel zeer efficiënt op te slaan in ondergrondse bollen. Zonne-energie is er opgeslagen in de vorm van zetmeel en suikers. De planten kunnen deze ondergrondse reserve mobiliseren om weer een nieuwe plant met blad en bloem te ontwikkelen onder omstandigheden, in het vroege voorjaar, die doorgaans ongunstig zijn voor plantengroei. Zij zijn hierdoor in staat zeer snel te groeien, grotendeels onafhankelijk van nieuw ingestraald zonlicht. Deze eigenschappen maken bolgewassen niet alleen tot een zeer aantrekkelijk produkt voor de tuinhobbyist, maar ook voor de bloemenproducenten die 's winters in kassen bloemen telen. De betrekkelijk geringe stookkosten en het onnodig zijn van bijbelichting van de planten houden de produktiekosten laag in vergelijking met veel andere teelten.

Toch is het benodigde vakmanschap bij de teelt niet te onderschatten, want wanneer de telers zouden volstaan met bollen planten in matig verwarmde kassen, kregen ze tijdens de wintermaanden geen bos bloemen in de winkel. Van groot belang blijken de gebeurtenissen in de bol in de periode tussen het afsterven van de bovengrondse delen omstreeks juni-juli en het weer uitgroeien van nieuwe spruiten.



2

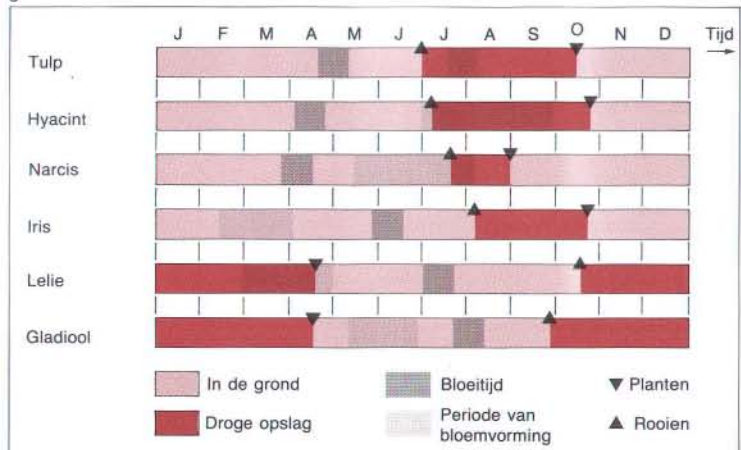


2. Tulpen en andere bolgewassen zijn al in de Gouden Eeuw in Nederland geïmporteerd en langzaam uitgegroeid tot een nationaal symbool.

3. De bolgewassen hebben ieder op hun eigen tijdstip hun periode van bloemaanleg, bloei en rust. De lelie en de gladiol zijn zomergewassen.

Hun lichtbehoefte is dan ook groter dan die van tulp, hyacint en narcis. 's Winters zijn ze alleen met behulp van kunstlicht in bloei te krijgen.

3



1. De liefde voor bolbloemen zit diep geworteld in de Nederlandse cultuur. Deze Delftsblauwe tulpen-vaas dateert uit 1690; de

tulpen zijn vers. Op de vaas staat het monogram van stadhouder Willem II. De vaas bevindt zich in paleis 't Loo.

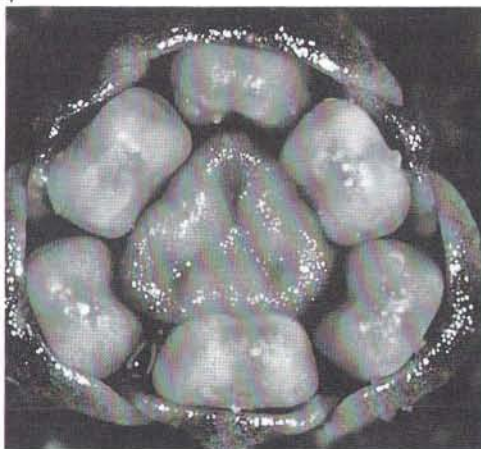
4. Uitgeprepareerd vegetatiepunt van de tulp in het laatste stadium van bloemaanleg. Duidelijk zijn de zes bloembladen,

de zes meeldraden en drie vruchtbladen te onderscheiden. Op ware grootte is het vegetatiepunt ongeveer 1,5 mm breed.

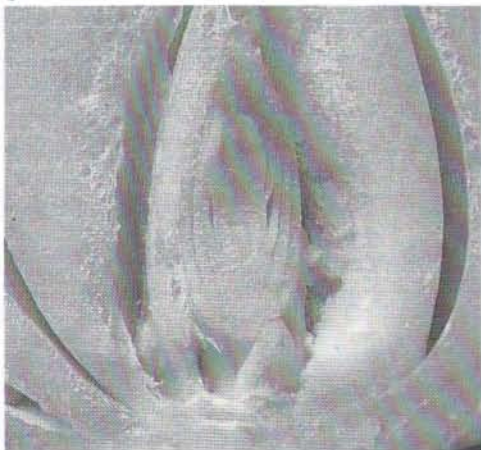
5. Doorsnede van een tulpebol. De bol bestaat uit drie bolrokken die staan ingeplant op de bolschijf. Centraal in de bol bevindt zich, eveneens op de bolschijf, het groeipunt, waaruit zich een spruit ontwik-

kelt compleet met blad en bloem. Ook de wortels zijn in aanleg aanwezig; als een krans aan de onderkant van de bol. Tussen de bolrokken zitten knoppen die normaliter zullen uitgroeien tot nieuwe bollen.

4



5



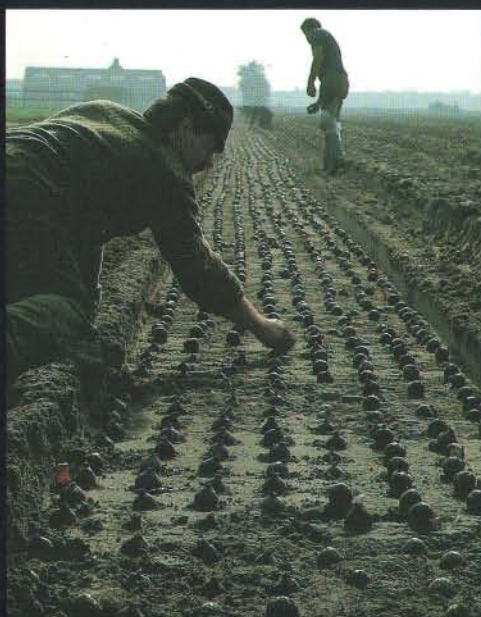
Ongunstige omstandigheden

Om de normale of natuurlijke groeiomstandigheden van bolgewassen te achterhalen, moeten we de gebieden bestuderen waar ze oorspronkelijk vandaan komen. Tulpen lijken wel heel Hollands, maar ze komen van oorsprong uit het berggebied van Klein-Azië, het tegenwoordige Turkije. Narcissen en hyacinten hebben hun bakermat in de landen rond de Middellandse Zee. In die gebieden zijn de zomers droog en warm tot heet; 's winters is het er dikwijls nat en daalt de temperatuur, vooral op iets grotere hoogten, soms tot ver onder nul. Dit laatste geldt vooral voor het Kaukasisch bergland waar strenge vorst in de winter regel is. In het voor- en najaar is de temperatuur gematigd. Zowel in de droge, warme zomer als in de natte, koude winter is het klimaat ongunstig voor de groei van de meeste bolgewassen. De planten blijken te kunnen overleven doordat het vegetatiepunt, een groepje cellen verborgen in het hart van de bol, waaruit door veelvuldige celdeling een nieuwe plant ontstaat, diep in de grond beschermd is tegen een weinig mild klimaat.

In het betrekkelijk kortdurende voorjaar komen de planten boven de grond en bloeien. Ze vormen een nieuwe bol, of voegen enkele bolrokken toe aan de overblijvende moederbol. Hierna sterven de bovengrondse delen van de planten weer af. Nieuwe groei is pas weer mogelijk in een volgend voorjaar, na een periode van betrekkelijke rust. Normaal uitgroeien van nieuw blad en de bloem is meestal pas mogelijk als de bollen tijdens de rustperiode zijn blootgesteld aan de zomerse warmte, gevolgd door kou in de winter. Dit groeipatroon wordt wel aangeduid als de *thermoperiodiciteit* van bolgewassen.

Bloembollencultuur

De jaarlijkse ontwikkelingscyclus van bolgewassen is geëvolueerd onder de natuurlijke klimaatomstandigheden en ligt genetisch vast. In onze streken, en waar ook ter wereld, vertonen ze dit groeipatroon nog steeds (afb. 3). Na eeuwenlang kruisen en selecteren door bollenkwekers zijn die eigenschappen behouden. Ook bij groei onder gematigde omstandigheden sterven de planten bovengronds af, zodra ondergronds nieuwe reserves zijn opgeslagen.



6



9

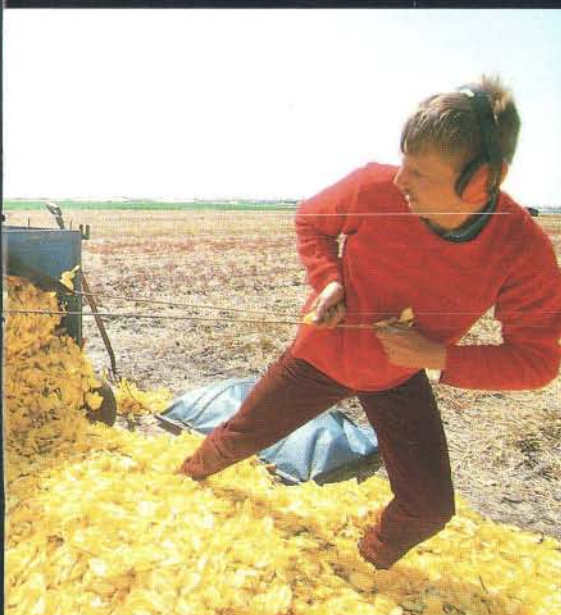


7



8

6, 7, 8, 9, 10 en 11. Het bollentelen verschilt sterk van de bolbloementeel omdat het proces is gericht op het vermeerderen van bollen. De bloemen verdwijnen uiteindelijk op de composthoop, maar niet nadat ze enkele dagen op de bollenvelden te pronk hebben gestaan. De jaarcyclus begint met het planten van de bollen (6). Om de temperatuur van de grond tijdens vorstperiodes niet al te veel door uit-



straling te laten dalen, dekken de kwekers de bollenvelden met stro (7). Staan de bollen eenmaal in bloei dan moeten de bloemen worden gekopt om te voorkomen dat de planten energie steken in de zaadvorming (8 en 9). Het is de bedoeling dat ze hun energie voor de groei

van nieuwe bollen gebruiken. Het rooien (10) gaat machinaal, maar het pellen van de bollen (11) is nog handwerk. Bij het pellen worden van de nieuwgevormde bollen de verschrompelde moederbol en de droge resten van bloemsteel en wortels verwijderd.



10



11



12

12. Het uitgraven van kistjes bollen in de winter, om ze in de kas vroegtijdig tot bloei te laten komen, is een lastig karwei als de weersomstandigheden tegenwerken. Het inkuilen wordt tegenwoordig overigens weinig meer toegepast.

15, 16 en 17. De ontwikkeling van het groeipunt is afhankelijk van de temperatuur waarbij de bollen na het rooien worden bewaard. Na een half jaar bij 0°C is het groeipunt nog erg klein (15); bewaring bij 5°C na 20°C levert een goed ontwikkeld groeipunt. Te lange opslag bij 20°C geeft een groeipunt waarin de bloem al sterk ontwikkeld is en tekens van verdroging vertoont.

13. Koeling van de bollen in een klimaatcel. Ze wortelen dan al in kistjes met grond.

14. In een moderne groot-schalige bollenbroeierij gebeuren alle werkzaamheden 'onder dak', met behulp van moderne landbouwwerktuigen.



13

Bij de bollenteelt worden in de zomer, na het afsterven van de bovengrondse delen, de bollen gerooid en te drogen gelegd. Daarna verwijdert men de wortels en bolresten van de moederplant; dit bollenpellen is voor velen in de bollenstreek een vakantiebaantje. De telers slaan daarna de bollen op in goed geventileerde bewaarplaatsen, zogenaamde cellen, waarin de temperatuur kan worden geregeld. De temperaturen worden zodanig geregeld dat aan de natuurlijke behoefte aan warmte en koude van de bollen wordt voldaan.

Aanleg van de nieuwe plant

Tijdens de bewaarperiode heerst ogenschijnlijk rust, maar in de bol voltrekt zich langzaam een aantal veranderingen, voornamelijk als gevolg van celdeling. Reeds voor het afsterven van bovengrondse delen blijkt het vegetatie-

punt in de bol een begin te hebben gemaakt met de vorming van een nieuwe plant door de afsplitsing van enkele minuscule bladbeginsels (*primordia*). Omringd door deze eerste primordia is het vegetatiepunt te zien als een afgeplat klompje ongespecialiseerde cellen met een middellijn van 0,3 tot 0,5 mm. Daaruit ontstaat later de bloem.

Verdere ontwikkelingen zijn het gemakkelijkst te volgen bij de tulp, waar ze ongestoord verlopen als de gerooiden bollen bij een temperatuur van ongeveer 20°C worden bewaard. Om het proces te kunnen volgen, moet men regelmatig enkele bollen doorsnijden en onder een prepareermicroscoop de vegetatiepunten blootleggen en observeren. Wij zien dan de verdere afsplitsing van primordia tot er drie of vier zijn. Hierna verandert het vegetatiepunt van vorm. Het wordt groter, bolvormig en ligt hoger. Met deze veranderingen is de vorming



14

Uitgroei van de nieuwe plant

Nieuwvorming van de plant en bloem is vooral een proces van celdeling. De uitgroei van plant en bloem in het voorjaar gebeurt vooral door *celstrekking*. Veel nieuwe cellen komen er dan niet meer bij, de bestaande cellen worden groter, vooral in de lengterichting. Celdeling en -strekking zijn duidelijk gescheiden processen.

Dat een in de herfst geplante bol, compleet met miniatuurblad en -bloem, normaliter pas in het voorjaar bovengronds iets van zich laat zien, is niet alleen het gevolg van de lage temperatuur in de winter. Worden de bollen geplant bij temperaturen van ongeveer 20°C, dan groeien ze ook nauwelijks uit. Het groei-proces is dan uitermate traag en de strekking

15



16



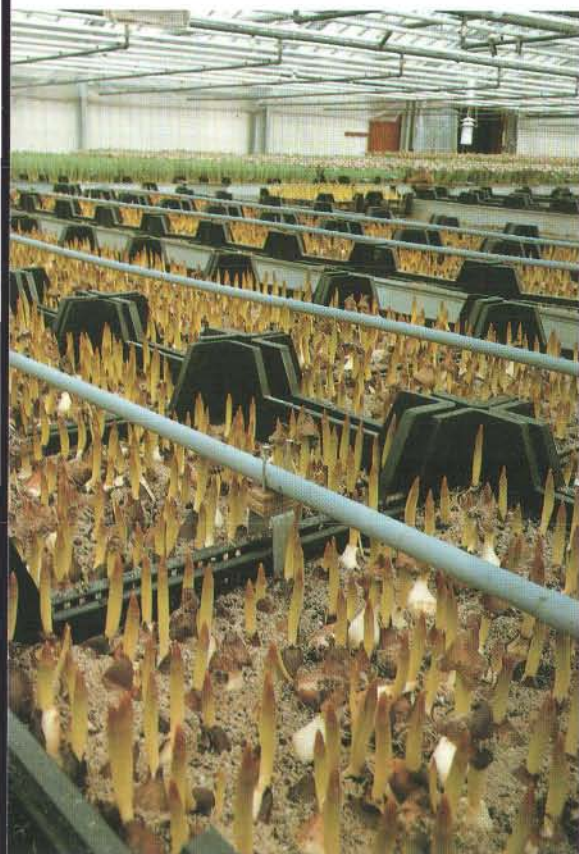
17



van de bloem ingeleid, waarvan de verschillende organen krans na krans te voorschijn komen met tussenpozen van ongeveer vier dagen. Eerst ontstaan twee kransen met elk drie bloembladen, dan twee kransen van elk drie meeldraden, en tenslotte de laatste krans van drie vruchtbladen die samen vergroeid de stamper vormen. De nieuwe plant is nu in miniatuur, 2 à 3 mm groot, compleet in de bol aanwezig. Het is dan half augustus. Alleen de verdere ontwikkeling van stuifmeel, zaadknoppen en stengeldelen zal nog moeten plaatsvinden. Toch zal de bloei onder Nederlandse klimaatomstandigheden pas over een half jaar plaatsvinden, in april van het volgend jaar, nadat de bollen in oktober buiten zijn geplant. Ogenscheinlijk is de zomer voor bollen een rustperiode en die tijd werd aanvankelijk ook zo genoemd, maar in werkelijkheid treedt rust pas in als de fase van nieuwvorming is afgesloten.

zo gering, dat zeer gedrongen planten ontstaan (zie afb. 22). Tijdens koeling kan celstrekking inderdaad niet optreden, maar die blijkt er wel door te worden voorbereid. Bij een volgende temperatuurstijging vindt snelle en aanzienlijke celstrekking plaats. De koeling doorbreekt dus een proces van groeiremning.

De voorbereiding van de strekking tijdens de blootstelling aan koude verandert nauwelijks iets aan het uiterlijk van de kleine plant in de bol, maar ligt meer op het niveau van biochemische en misschien ook van biofysische processen. Tijdens de koudeperiode wordt het hormonale groeiregulatiesysteem anders ingesteld. De concentraties van groeistimulerende en groeiremmende hormonen of *plantegroei-regulatoren* veranderen, terwijl ook het aantal receptoren voor de hormonen in de celmembranen toeneemt. De cellen worden daardoor gevoeliger voor hormonen. Ook de koolhy-



18

18. Bolbloementelers trekken bolplanten bijna altijd in kassen in bloei. Na opslag in de kou bloeien tulpen in de matig warme kas reeds na een paar weken.

19. Uitgeprepareerd groeipunt van de lelie. Duidelijk zijn de individuele bloembeginsels aan de bloeiwijze te onderscheiden. De verst gevorderde bloemaanleg rechtsonder vertoont alle bloemorganen (stadium G). De jongste aanleg links in het midden vertoont nog geen afsplitsing van aparte bloemdelen.



19

draatstofwisseling wordt beïnvloed. Opgeslagen zetmeel moet snel beschikbaar zijn om de nieuwe spruit te voeden. Dit betekent dat de synthese van zetmeel in de bolrokken geheel moet stoppen en dat er zetmeelsplitsende enzymen moeten worden gemaakt.

Samengevat is het dus zo, dat warmte in de zomer de nieuwvorming door celdeling stimuleert. Het tere jonge weefsel ontstaat in de bol, diep in de grond, gevrijwaard van extreme hitte en vraat door dieren. Winterse kou prepareert de planten voor een snelle strekking. De temperatuurstijging in het voorjaar bewerkstelligt de strekking en bloei.

Bloeispreiding

Door nu gebruik te maken van de hiervoor besproken thermoperiodiciteit van bolgewassen, is het mogelijk het hele jaar door bolgewassen

in bloei te trekken. Jaarrond bloei met behulp van temperatuurbehandelingen is mogelijk bij hyacinten, tulpen, narcissen, lelies en irissen. De producenten kunnen de bloei zowel vroegen als vertragen ten opzichte van het natuurlijke bloeitijdstip.

De bloemenproducenten krijgen bloeiende bolgewassen wanneer ze na voldoende koeling de temperatuur verhogen tot 15 à 20°C. In ons klimaat is de winter koel genoeg, maar de voorjaarswarmte wil wel eens op zich laten wachten. De bloementeler maakt hiervan gebruik door buiten gekoelde bollen in de warme kas te halen en tot bloei te laten komen. De eenvoudigste methode is die waarbij de bollen in oktober in met grond gevulde kistjes buiten in een 'kuil' worden geplant, waarna deze kistjes 's winters worden uitgegraven en in de kas gezet. Ook is het mogelijk een verplaatsbare kas over de buiten geplante bollen te rollen.

Dit laatste vergt wel een grotere investering, maar levert het voordeel op van werkverlichting en bovendien bestaat niet het risico, dat het uitgraven van de kisten door strenge vorst onmogelijk is.

Nog minder afhankelijk van weersomstandigheden is de bolbloementeler die beschikt over koelcellen waarin de bollen worden gekoeld, zodat buiten planten niet meer nodig is. Dat geeft tegelijk de mogelijkheid eerder met de koeling te beginnen. Deze ontwikkelingen, die vooral van technische aard zijn, hebben geleid tot mechanisatie, rationalisatie en schaalvergroting van de broeierij en daarmee tot moderne methoden in de bloementeel.

Men koelt de bollen tegenwoordig gedurende twaalf weken bij 5°C. De koudebehandeling wordt meestal toegepast, nog voor de bollen worden geplant. Dat spaart veel ruimte in de koelcellen. De koeling kan in principe beginnen, zodra de bloemaanleg in het vegetatiepunt is voltooid, om precies te zijn nadat de stamper is aangelegd. Het vakjargon duidt dit aan met *stadium G*, de eerste letter van *gynoe-cium*: de technische vakterm voor stamper. De bloemaanleg weet men te versnellen door de bollen eerder te rooien dan normaal en ze onmiddellijk daarna een warmtestoot te geven door ze een week bij 34°C te bewaren. Daarna brengt men de temperatuur terug tot 20°C

waarbij de bloem dan versneld wordt gevormd. De vroegste bloei kan na deze behandeling reeds eind november plaatsvinden.

Naast bloeivervroeging is ook bloeivertraging mogelijk door gebruik te maken van temperatuureffecten, bijvoorbeeld door de aanvang van de koeling zo lang mogelijk uit te stellen. Dit effect wordt maximaal benut als eerst de bloemvorming wordt vertraagd, hetzij door hoge of door lage temperatuur. Een andere mogelijkheid is gevonden in het verlengen van de koudeperiode. Zolang de temperatuur laag genoeg is zal de strekking achterwege blijven. Toepassing vindt plaats door de bollen te koelen bij -2°C, een temperatuur waarbij nog net geen vorstschade optreedt. Na ontdooiing volgt bij een gematigde temperatuur weer het normale strekkingsproces. Bij deze teelt spreekt de vakman van *ijstulpen*.

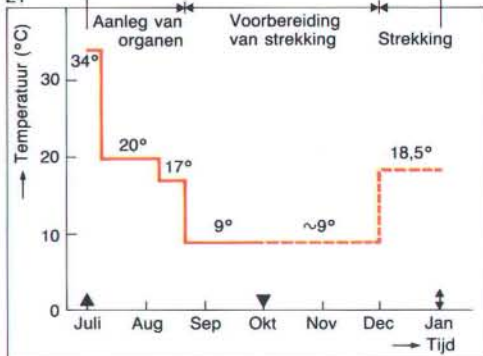
Bolgroei

Tot nu toe hebben we bolgroei als een vanzelfsprekendheid aangenomen. Toch zitten hier ook addertjes onder het gras en is het vakmanschap van de bollenteler onontbeerlijk. Nieuwe bollen ontwikkelen zich normaliter uit groeipunten in okselknoppen die gelegen zijn tussen de bolrokken. We noemen dit de vegetatieve vermeerdering; het is een vorm van on-

20



21



20. Na de oogst van een bolbloem is de bol uitgeput en niet opnieuw te gebruiken. De plant heeft immers geen groene delen meer.

21. Schema voor de temperatuurbehandeling van tulpebollen voor het bereiken van vervroegde bloei in kassen.

geslachtelijke voortplanting. Centraal in de bol ligt het generatieve groeipunt, dat, zoals we inmiddels weten, een bloem produceert die tot generatieve of geslachtelijke voortplanting in staat zal zijn. De ontwikkeling van bollen uit deze okselknoppen komt, evenals de bloemvorming, niet tot stand zonder koudebehandeling. Een irisplantje, ononderbroken geteeld bij een constante temperatuur van ongeveer 20°C, zal jaar in jaar uit blad produceren zonder te bloeien of een bol te vormen. Een tulpezaad, gezaaid en geteeld bij 17 tot 20°C zal zonder koude nooit een bol leveren en dus ook nooit het bloeistadium bereiken. Voor de mogelijkheid om een bloem en zaden te vormen, is namelijk behalve warmte ook een minimale bolmassa een noodzakelijke voorwaarde.

Het effect van de lage temperatuur blijkt

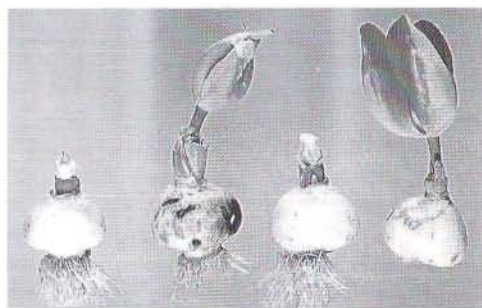
dus tweeledig te zijn: enerzijds wordt de celstrekking voorbereid, anderzijds wordt de bolontwikkeling op gang gebracht. De ontwikkelingsfase van een groeipunt bepaalt hoe de uitwerking van het koude-effect zal zijn. Wanneer groeipunten tussen de bolrokken echter in plaats van een koude-, een warmtebehandeling ondergaan, zal daardoor het celdelingsproces worden bevorderd. Het effect zal zijn, dat zij bladprimordia vormen en daarna zelfs kunnen overgaan tot de aanleg van een bloem. Wordt zo'n warm bewaarde bol alsnog geplant, en ondergaat hij daarna nog de invloed van de lage temperatuur, dan zal een plant ontstaan met meer dan één bloemsteel, in de bollenteelt bekend als stokkeplant (afb. 23). De lezer zal begrijpen dat zo'n plant een bollenteler niets oplevert. De bolopbrengst is namelijk nihil.

■ Werking van plantegroeieregulatoren

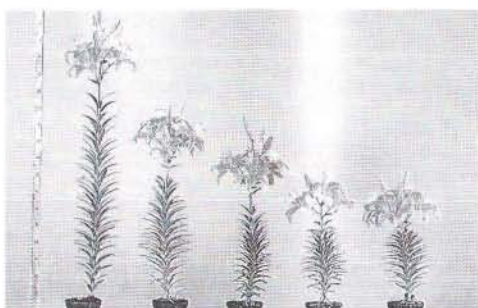
Groeiregeling van bolplanten met behulp van temperatuurveranderingen gebeurt in de plant waarschijnlijk door plantegroeieregulatoren (hormonen). Bij onderzoek zijn zulke verbindingen, bekend van andere plantesoorten, inderdaad aangetoond, maar de gegevens zijn nog te beperkt om er de groeiregulatie geheel mee te verklaren.

De effecten die van buitenaf toegediende groeiregulatoren hebben, versterken de veronderstelling dat externe groeiregeling in de plant in groeiregulatorconcentraties wordt vertaald. De strekking van de tulpesteel leent zich uitstekend voor dit type onderzoek. Het blijkt dat verwijdering van het jonge blad en de bloemknop van een wel gekoelde, nog niet gestrekte tulp de strekking geheel onmogelijk

maakt. Toediening van auxinen (β -indolyl-azijnzuur en/of α -naftyl-azijnzuur) op het wondvlak van de afgetopte steel herstelt het strekkingsvermogen (afb. I-3). Aangezien we weten dat ethyleen het auxine-transport in de plant remt en ook de lengtegroei van de steel erdoor tot stilstand komt, kunnen we nu stellen dat in de tulpeknop, en in mindere mate in het jonge blad, auxinen worden geproduceerd, die vervolgens in benedenwaartse richting worden getransporteerd. Op hun weg door de jonge steel bewerkstelligen de auxinen de strekking. Van de groeiremmende werking van plantegroeieregulatoren kan gebruik worden gemaakt bij de productie van bolgewassen als potplant, waarvoor korte stelen gewenst zijn.



I-1



I-2



22. De volledige strekking van de steel van tulpen is slechts mogelijk na voldoende koeling. De planten in het linker kistje zijn gekoeld bij 5°C, die in het middelste kistje bij 9°C en die in het rechter zijn niet gekoeld, maar bewaard bij 17°C. Van de planten in het rechter kistje zijn de bloemknoppen verdroogd.

INTERMEZZO I

I-1. Stelen van ongekoelde tulpebollen strekken nauwelijks en de bloemknop heeft slechts een kleine kans het bloeistadium te bereiken. Verwijdering van het jonge blad versterkt de kans op verdroging van de bloemknop. Toediening van de plantegroeieregulatoren cytokininen en gibberellinen aan de bloemknop resulteert in bloei zonder strekking van de steel (rechts). Aan de bloemknop geheel links zijn geen groeistoffen toegediend, aan de tweede van links alleen cytokinine; de derde van links kreeg α -nafylazijnzuur.

I-2. Dompeling van leliebollen in oplossingen van paclobutrazol remt de strekking van de steel. Als gevolg van deze behandeling ontwikkelen de planten zich tot aantrekkelijke potplanten. Voor een goede kwaliteit is het van belang de juiste toe te dienen concentratie van de remstof te kennen: links bollen gedompeld in water; rechts in 1,5 mg l⁻¹ remstof.

I-3. Verwijdering van blad en bloemknop maakt strekking van de steel van normaal gekoelde tulpen onmogelijk (links). Toediening van een pasta met daarin 0,5% α -nafylazijnzuur aan de top van de kale ongestrekte steel herstelt het strekkingsvermogen (rechts). α -Nafylazijnzuur is verwant aan de groeiregulator auxine die in bloem en blad wordt geproduceerd.

Het effect van ethyleen

De gefaseerde ontwikkeling van bolgewassen laat zich in grote trekken verklaren als gevolg van een afwisseling van hoge en lage temperaturen. Toch zijn er enkele verschijnselen die aan het temperatuurregime ontsnappen. Deze kwamen bij de commerciële teelt van bollen en bolbloemen aan het licht als ongewenste produktiebeperkende storingen. Te noemen zijn het verdrogen van bloemknoppen bij tulpen (afb. 24) en irissen bij de vervroegde bloei, het ontbreken van de bloemvorming bij iris of juist het tegendeel, namelijk het onverwacht bloeien van kleine irisbollen bij de teelt van bollen. Uit onderzoek op het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek bleek dat in deze gevallen sprake is van een beïnvloeding van het regulatiemechanisme door middel van het plantehormoon ethyleen. Het is reeds opgemerkt dat de temperatuur, als externe factor, het interne, van hormonen afhankelijke regulatiemechanisme beïnvloedt. Hetzelfde doet ethyleen, dat in zeer lage concentraties in de atmosfeer voorkomt. Het gas werkt bij planten als verouderingshormoon. Bijna alle planteweefsels produceren het. De produktie van ethyleen door bollen is doorgaans bijzonder laag en nauwelijks meetbaar, maar de reactie van bollen op een ethyleenbehandeling is spectaculair en heeft ook gevolgen voor de bloemteelt.

Het is dan nog de vraag of, en zo ja in welke mate, de effecten van de temperatuur tot stand komen door de werking van ethyleen dat door de planten zelf wordt gemaakt. Een ethyleen-behandeling van irisbollen kan de warmtebe-handeling, die nodig is voor snelle bloemvor-ming, namelijk geheel vervangen: een begas-sing gedurende 24 uur met minimaal 5 $\text{ml}\cdot\text{m}^{-3}$ (5 ppm) geeft meer garantie op bloei dan een warmtebehandeling van twee weken bij 35°C en drie dagen bij 40°C. Niet alleen de bloemaanleg wordt erdoor bevorderd, maar ook de uitgroei van de knoppen. Men zou kun-nen zeggen, dat dit hormoon het regulatie-systeem in de plant inschakelt en afstemt op maximale bevordering van alle processen die leiden tot geslachtelijke voortplanting. Een vergelijkbaar effect treedt op bij tulpen, zij het minder spectaculair dan bij irissen, zoals ook de warmtebehoefte van tulpen minder is. Bij tulpen wordt namelijk niet alleen de bloemvor-ming door ethyleen bevorderd, maar ook de veroudering, waardoor bloemknoppen voor-tijdig kunnen verdrogen. Hoe verder de ont-wikkeling van het groeipunt gevorderd is, des te meer dit verouderingseffect optreedt. Op-



23

23. Ethyleen bevordert, evenals een hoge tempe-ratuur, de bloemvorming. Wanneer een tulpebol tij-dens de droge bewaring bij 20°C de invloed van ethyleen ondergaat, kun-nen zelfs bloemen worden aangelegd in de oksel-knoppen van de bolrok-

ken. Dit resulteert in plan-ten met meerdere bloem-stelen, zogenaamde stok-keplanten. Zonder ethy-leenbehandeling zouden deze okselknoppen tot nieuwe bollen zijn uitge-groeid; stokkeplanten zijn dus een schadepost voor de bollenteler.

Het gommen van tulpebollen

Bij de verwerking van bloembollen moet er steeds re-kening mee worden gehouden, dat de droge, bruin-vliezige, ogenschijnlijk dode bollen levende planten zijn. Hoe rustig de bollen er ook uitzien, de stofwis-seling gaat door. Graadmeter hiervoor is onder an-dere de ademhaling. Een kilo bollen produceert per uur 10 tot 20 ml koolzuurgas en neemt in die tijd een gelijke hoeveelheid zuurstof op. Zo verliezen de bol-len tijdens droge bewaring in de zomer ongeveer 10% van hun gewicht, een deel daarvan is water. Het is duidelijk dat dit consequenties heeft bij op-slag en transport. Steeds zal een goede luchtver-ving moeten plaatsvinden.

Worden bollen te vochtig bewaard, dan zullen zich op de bolrokken en vliezen snel schimmels ont-wikkelen. Daaronder bevinden zich ziekteverwekkers, zoals *Fusarium oxysporum f. tulipae*, die de bollen uiteindelijk totaal kan verwoesten. Deze schimmel kan zeer veel ethyleen produceren, gemid-

deld 0,1 ml per dag per aangetaste bol bij 20°C. De maximaal gemeten hoeveelheid was zelfs 0,8 $\text{ml}\cdot\text{dag}^{-1}\cdot\text{bol}^{-1}$. Wordt dit ethyleen onvoldoende afgevoerd, dan bevat de atmosfeer al snel een con-centratie, die ook gezonde bollen binnen een partij beïnvloedt. De ethyleeneffecten treden namelijk al op vanaf 0,01 $\text{ml}\cdot\text{m}^{-3}$. Eén van de effecten van ethyleen is een verhoging van de ademhalingsintensiteit, die tot het tienvoudige kan oplopen. Er vindt dan versnelde afbraak van zetmeel in de bolrokken plaats. Ontsporing van de stofwisseling uit zich bij bepaalde soorten tulpen in de vorming van gommen. Deze suikerpolymeren hopen zich op onder de bui-tenste cellagen van de bolrok, waardoor blazen ont-staan. Breekt zo'n blaas open, dan treedt de gom naar buiten en verhardt. Wanneer deze complicaties zich voordoen bij de verwerking van bollen zal het produkt onverkoopbaar zijn, hoe fraai de sculptu-ren van deze gom ook mogen zijn.

24 en 25. In bollen die te warm of te lang droog bewaard zijn, kan de bloei verdroogd zijn zodat bloei niet meer mogelijk is. Zulke ongelukken gebeuren in de praktijk en als er dan attente onderzoekers of ervaren praktijkmensen in de buurt zijn kan er lering uit worden getrokken en herhaling van het bedrijfsongeval achterwege blijven.



24



25

merkelijk is dat groeipunten van tulpen op het moment van rooien doorgaans al verder zijn ontwikkeld dan die van irissen.

Het zal nu duidelijk zijn, dat in bollenbewaarruimten thans niet alleen de temperatuur nauwlettend wordt bewaakt, maar ook de samenstelling van de lucht. Spoortjes ethyleen,

geproduceerd door motoren, ketels, branden, fruit of bloemen, kunnen desastreuze effecten oproepen. Het alarm staat afgesteld op $0,1 \text{ ml} \cdot \text{m}^{-3}$ (100 ppb). Bij irissen die bestemd zijn voor de bloei dient men daarentegen ethyleen toe, net zoals bananen er kunstmatig mee worden gerijpt.

INTERMEZZO II



II-1

II-1. Onder invloed van ethyleen worden in de bolrokken van tulpen gommen gevormd. Bij hevige

reacties breekt de gom door en verhardt buiten de bol tot een harsachtige substantie.

Literatuur

- Algera L. Over den invloed van de temperatuur op de koolhydraatstofwisseling en ademhaling bij de tulp en de hyacinth en de betekenis daarvan voor de ontwikkeling der plant. Meded. v.d. Landbouwhogeschool te Wageningen: 1948; deel 48, verhandeling 4, blz 88-183.
- Hertogh A de. The principles for forcing tulips, hyacinths, daffodils, Easter lilies and Dutch irises. Sci. Hort. 1974; 2; blz. 313-355.
- Forcing flower bulbs. Internationaal Bloembollencentrum Hillegom.
- Hartsema AM. Influence of temperatures on flower formation and flowering of bulbous and tuberous plants. Encycl. Plant. Physiol. 1961; 16; 123-167.
- Kamerbeek GA and WJ de Munk. A review of ethylene effects in bulbous plants. Sci. Hort. 1976; 4; 101-115.
- Rees AR. The growth of bulbs. London: Academic Press; 1972.

Bronvermelding illustraties

- Internationaal Bloembollencentrum, Hillegom: pag. 314-315, 2, 6, 7, 10, 11
- Wim Köhler, Cadier en Keer: 5, 15, 16, 17, 24
- Jan den Hengst, Aarlanderveen: 8, 9, 18, 20, 25
- Stichting Vakinformatie Siergewassen, Leiden: 13, 14
- De overige illustraties zijn afkomstig van het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek, Lisse.

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir. S. Rozendaal.

JAAP WILLEMS

DE MAATSCHAPPELIJKE RELEVANTIE VAN ZEEGRAS

Prof Piet Nienhuis over de ecologie, de wetenschap van de relaties tussen soorten en hun natuurlijke omgeving, die zich opnieuw moet bewijzen.

“De ecologie heeft zichzelf buitenspel gezet. Hoe komt dat? Veel ecologen zijn de afgelopen jaren meegewaaid met modieuze winden zoals de milieukunde. Dat heeft geleid tot wildgroei en ecologisch simplisme. We zijn daardoor op ons gezicht gevallen.

Een aantal mensen heeft dat aanvoeld en daardoor zie je nu een tendens in de goede richting. Het moderne ecologisch onderzoek richt zich opnieuw op de fundamenteën van deze wetenschap en niet alleen op de toepassingen. Er wordt weer nagedacht over de basistheorieën. Dat is de grote uitdaging aan de ecologen van deze tijd: we moeten de ecologie een nieuw en beter fundament geven en daarmee onszelf opnieuw bewijzen.”

Aan het woord is prof dr P.H. Nienhuis, sinds kort bijzonder hoogleraar in de (estuariene) ecologie aan de Katholieke Universiteit Nijmegen. De toevoeging ‘bijzonder’ geeft aan dat hij zijn dagelijks werk elders verricht. Piet Nienhuis is sinds 1966 verbonden aan het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek in Yerseke. Dat is een instituut voor zuiver bio-



Zeeuwse schorren: het werkterrein van Nienhuis (Foto: René Kleingeld)

logisch onderzoek onder de vleugels van de KNAW. Hij is er werkgroep leider Estuariene Voedselketens.

In zijn onlangs gehouden oratie kraakte de kersverse professor een aantal harde ecologische noten. Hij betoogde onder meer dat het geloof in de bruikbaarheid van wiskundige computermodellen van een totaal ecosysteem ongefundeerd is. Die geven namelijk pas een alarmsignaal als zo'n systeem – bijvoorbeeld de Oosterschelde – ernstig is aangetast. Dan is het meestal te laat. Wat bedoelt hij daarmee?

Nienhuis: "Een ecosysteem is zeer complex. Het is opgebouwd uit een groot aantal componenten, zoals voedselketens en kringlopen. De gegevens over deze componenten hebben een fikse onzekerheidsmarge, een grote variatie, omdat je met levende wezens te maken hebt. Bovendien blijken ze afhankelijk te zijn van de methode van onderzoek. Wanneer je die componenten aan elkaar koppelt, koppel je ook alle onzekerheden. Dat maakt het systeem – op papier – betrekkelijk ongevoelig voor veranderingen. Daar zit de crux. Zo'n model wordt gemaakt voor de praktijk, voor de beheerders van natuurgebieden. Die willen kunnen vaststellen wat er gebeurt als je bijvoorbeeld de waterhoogte wijzigt. Het recente verleden heeft geleerd dat je dat via zo'n model niet kunt voorspellen. Daardoor is het vertrouwen in de ecologie getaand. Om dat te herstellen moeten we terug naar de soorten, naar bijvoorbeeld de populatie-dynamica van een plant of een dier. Daar werken die modellen wel."

Zwakke theorie

Het pleidooi voor een herwaardering van computermodellen in de ecologie sluit aan bij een andere wens van professor Nienhuis: een nieuwe en zorgvuldiger theorievorming.

In het verleden is volgens hem een groot aantal ecologische theorieën ontwikkeld die bij nader inzien de toets der kritiek niet kunnen doorstaan. Als voorbeeld noemt hij de opvatting dat de stabiliteit van een ecosysteem – bijvoorbeeld een natuurgebied – afhankelijk zou zijn van de soortenrijkdom. Hoe meer soorten, hoe stabiel het gebied. Dat is een zwakke theo-

rie, omdat men nooit goed heeft gedefinieerd wat stabiliteit is. Iets dergelijks geldt ook voor het begrip stress. Deze termen worden vooral gebruikt door beheerders; wetenschappelijke onderzoekers kunnen er weinig mee doen. Prof Nienhuis: "De theorievorming in de ecologie is uitgesproken zwak. Men heeft het ontbreken van goede ecologische theorieën lang kunnen verbloemen, maar door het falen van allerlei modellen komt dit zwakke fundament nu aan het licht. Een fysioloog kan terugvallen op harde schema's, zoals de citroenzuurcyclus. Die hebben wij niet. Geen enkele ecoloog heeft op zijn studeerkamer een exact uitgewerkt model hangen van een voedselketen. Als men iets heeft, ligt dat altijd op een lager integratieniveau, bijvoorbeeld op dat van een bepaalde plantesoort."

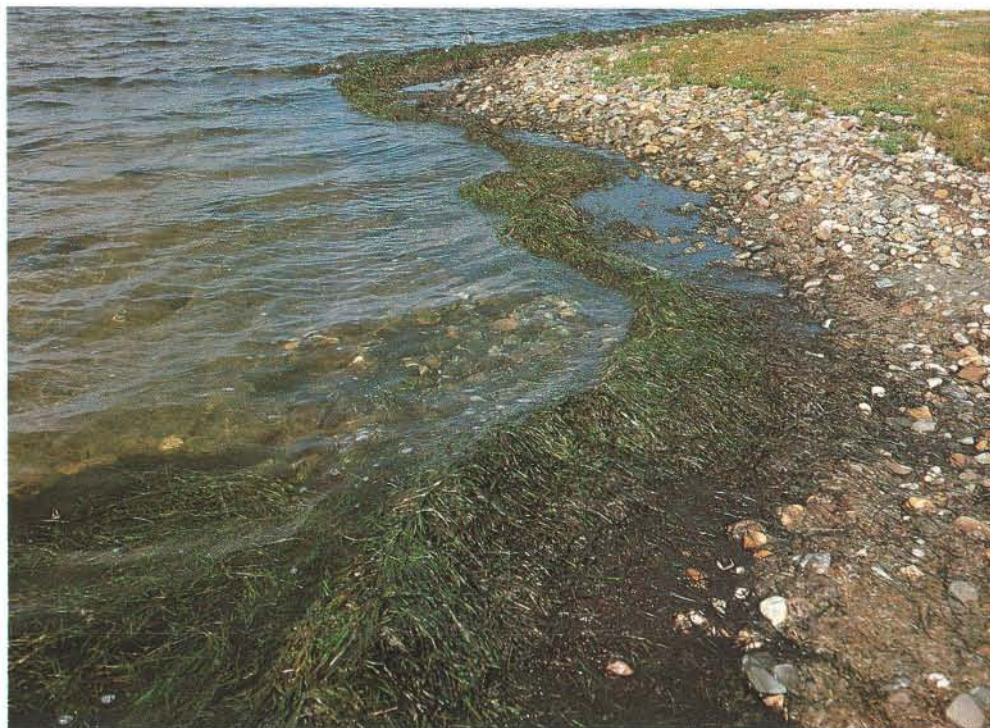
Wie zulke kritiek spuit, moet van goede huize komen. Wie is professor Piet Nienhuis?

"Ik heb biologie gestudeerd aan de Vrije Universiteit, in een periode waarin de term ecologie nog nauwelijks bestond. Tijdens mijn opleiding kreeg ik te maken met vegetatiekunde, zoögeografie en systematiek. Dat zou je tegenwoordig ecologie noemen. Toen ik klaar was, kwam ik bij het Delta Instituut.

De eerste jaren heb ik gewerkt aan algen. Dat was een heerlijke periode. Ik heb een proefschrift geschreven over de ecologie van een aantal algemeen voorkomende soorten. Die heb ik helemaal uitgewerkt. Maar de resultaten van dat werk bereikten slechts een kleine groep collega's: met zo'n onderzoek scoor je niet. Ik ben een pragmatisch ingesteld mens en daarom ben ik na mijn promotie van onderwerp veranderd. Ik ben me gaan toeleggen op macrofy-



Aangespoeld zeegras (Foto: René Kleingeld)



ten, met name zeegrasen. Samen met Den Hartog uit Nijmegen vorm ik nu de nationale expertgroep op dit terrein. In de jaren zeventig heb ik de werkgroep Kringlopen & Voedselketens opgebouwd, die nu 'Estuariene voedselketens' heet. Dat was het begin van onderzoek aan complexe ecosystemen. Sinds 1979 houd ik me vooral bezig met het aantrekken van contract-research, met name van Rijkswaterstaat." Ongeveer een vijfde van het onderzoek aan het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek bestaat op het ogenblik uit contractonderzoek. Dat wordt uitgevoerd in een van de drie werkgroepen (van elk 15 tot 20 mensen): Estuariene voedselketens, Ecofysiologie en Schorecosystemen.

De carrière van Piet Nienhuis is voorlopig aangeland bij de post van bijzonder hoogleraar aan de KUN. Wat is het nut van zo'n benoeming? Nienhuis: "Dat is wederzijds. Het Delta Instituut houdt zich vooral met zuiver wetenschappelijk onderzoek bezig. We beschikken daardoor over aantrekkelijke faciliteiten. De KUN houdt zich op de eerste plaats bezig met onderwijs. De koppeling van de twee via een bijzondere leerstoel is voor beide aantrekkelijk. Het Delta Instituut krijgt instroom van jonge mensen met nieuwe ideeën en inzichten; de universiteit krijgt de mogelijkheid om haar studenten stage te laten lopen en een werkplek voor promovendi. Bovendien wordt het onderwijs uitgebreid."

Zeegrasen

Hoogleraren en andere prominente onderzoekers ontleenen hun faam meestal aan wetenschappelijk onderzoek. Wat heeft dr Piet Nienhuis op dit terrein gedaan? Waardoor is hij opgevallen?

"Ik heb erg veel onderzoek gedaan en veel gepubliceerd. Het is onmogelijk om aan te geven wat het beste is of wat het belangrijkste. Ik kan wel zeggen wat m'n lievelingsonderzoek was. Dat was het zeegrasen-onderzoek dat ik samen met Cees den Hartog heb gedaan. Daarmee hebben we goed gescoord; als ik met vakvrienden praat, zijn dat macrofytologen. Mijn bijnaam is dan ook Piet Macrofiet."

Het zeegrasenonderzoek

waarop hij doelt, vond onder meer plaats in het kader van het Grevelingenproject. Biologen van het Delta Instituut hebben toen uitgebreid onderzoek gedaan naar allerlei aspecten van dit ecosysteem: de primaire produktie, de vraat, de afbraak, kringlopen van voedingsstoffen zoals koolstof enzovoort.

Eén van de opmerkelijke resultaten van dit onderzoek is de ontdekking dat zeegrassen een zeer belangrijke bijdrage leveren aan de (primaire) voedselproduktie en dat slechts tien procent daarvan wordt opgegeten. 90% wordt detritus (afval) en komt via afbraak door micro-organismen terecht in de voedselkringloop. "Dat was een opmerkelijk gegeven en dat hebben we dan ook in een goed tijdschrift kunnen publiceren."

Dank zij de goede naam die de groepen van Nienhuis en Den Hartog hebben opgebouwd, waren zij degenen die

meemochten met de Snellius-expeditie naar Indonesië. Nienhuis was toen leider van de zeegrassengroep. Tijdens het Internationaal Botanisch Congres in Berlijn (in 1987) stond de studiedag over zeegrassen onder zijn leiding. "Dat geeft toch wel duidelijk aan welke rol Nederland op dit terrein speelt."

De wetenschappelijke betekenis van het zeegrassenonderzoek moet men natuurlijk niet overdrijven, want het is maar een bescheiden onderdeel van de ecologie. Nienhuis is de eerste om dat toe te geven. Onderdelen zoals bodembio-logie en ecotoxicologie 'scoren' beter, niet in de laatste plaats omdat hun maatschappelijke relevantie groot is. "Maar je moet de wetenschappelijke en maatschappelijke betekenis van zeegras toch ook niet onderschatten. Zeegras vormt een belangrijke habitat (woongebied) voor veel zoogdieren. Bovendien is het een zeer belangrijke pro-

ducent van voedingsstoffen. Vroeger groeide er veel zee-gras in de Waddenzee. Dat is in de jaren dertig door nog onbekende oorzaak verdwenen. Nu vindt je het alleen nog in de Zeeuwse Delta. Waarschijnlijk heeft dat grote invloed op de visstand, maar wat die invloed precies is, weten we nog niet. Ook de oorzaak van het verdwijnen van zeegras is nog onbekend."

Prof Nienhuis hoopt in de nabije toekomst een aantal projecten te kunnen starten om dat soort vragen te beantwoorden. Binnenkort zal er een convenant worden gesloten tussen de KUN en het Delta Instituut waarin die samenwerking wordt geregeld. Ook het onderwijs dat men vanaf 1989 aan de KUN zal geven, zal via deze overeenkomst worden vastgelegd.

Jong en argeloos

Zeegrasonderzoek klinkt zuiver wetenschappelijk, maar is kennelijk ook maatschappelijk relevant.

Prof Nienhuis: "Ja, inderdaad. Binnenkort verschijnt de Derde Nota Waterhuishouding en daarin zal duidelijk worden aangegeven dat waterplanten een belangrijke functie hebben. Ze spelen een onmisbare rol als indicatoren. Aan de watervegetatie kan men zien hoe de kwaliteit van het water is. In gezond water groeien waterplaten; in vervuild water zoals de Randmeren vindt men vooral algen en in sterk vervuild water, zoals de baai van Venetië of in de eendenvijvers, vindt men alleen nog plankton. Dat water noemt men *hypertroof*."

Dit soort opmerkingen duidt op een sterke maatschappelijke betrokkenheid van de ecologie. Maar in zijn oratie zegt Nienhuis dat de ecooloog geen advocaat mag zijn voor één of



Het uitspitten van zoden zeegras ten behoeve van ecologisch onderzoek (Foto: René Kleingeld)

ander maatschappelijk deelbelang. Een en ander lijkt met elkaar in tegenspraak.

Prof Nienhuis: "Dat is juist en die uitspraak moet ik dan ook nuanceren. Het betekent dat men – gedreven door één of ander maatschappelijk belang – geen uitspraken moet gaan doen die wetenschappelijk onverantwoord zijn. Jonge, vaak argeloze wetenschappers mogen niet als advocaat optreden voor bijvoorbeeld een Oosterscheldedam. Ze hebben doorgaans een te gebrekkige theoretische basis en daardoor worden ze nogal eens verleid tot te simpele redeneringen. Een goed voorbeeld daarvan is de Oosterscheldedam. Voordat men die ging bouwen, is die door ingenieurs met onvoldoende ecologische ervaring aan de monitor gelegd. Men heeft van een beperkt aantal kenmerken bekeken wat de invloed zou zijn van zo'n dam. Essentiële processen zijn waarschijnlijk niet onderzocht, door gebrek aan een goede theorie. Zo'n onderzoek suggereert dat de aanleg van de dam verantwoord is, maar dat is onjuist. Ik beweer alleen dat de ecologische argumentatie te sterk vereenvoudigd is."

Het simplisme in de ecologie is volgens Nienhuis onder meer te wijten aan de opkomst van de milieukunde. "Milieukunde is in, milieukundigen worden steeds meer ingeschakeld om dit soort beslissingen te ondersteunen. Maar een milieukundige is geen ecooloog. Hij of zij heeft onvoldoende bagage voor een goede interpretatie van de beschikbare gegevens. Die mensen krijgen een beetje hap-snap ecologie. Ik wil de milieukundige niet onderuit halen, maar het is niet voor niets een interfacultaire studie. De basiskennis is daardoor absoluut onvoldoende."

Slecht imago

Het voorbijgaan aan de ecooloog bij het voorbereiden van beleidsbeslissingen hangt nauw samen met het verslechterde imago van deze wetenschap. Tien jaar geleden speelden ecologen nog een belangrijke rol; nu is dat in veel mindere mate het geval.

Volgens Nienhuis scoren ecologen op dit moment minder goed omdat de maatschappij vooral strategische vragen stelt. Men wil concrete adviezen voor actuele problemen. Toxicologen 'en dat soort lieden' zijn doorgaans beter in staat die te verstrekken. Hij

zegt: "Op het ogenblik worden de ecologen uitgedaagd om te bewijzen dat zij op hun niveau van grote waarde zijn. Dat zal overigens niet meevallen want de ecologie is verdeeld door onderlinge spraakverwarring, onenigheid en simplisme." Het idee dat de ecologie zich (opnieuw) moet bewijzen, leeft overigens niet alleen bij Nienhuis. In zijn oratie citeert hij de befaamde Canadese bioloog Schindler. Die zei onlangs: "There has perhaps never been a more critical, more challenging period in the history of ecology". Hoe moet de ecologie die uitdaging aanpakken?

Boven: Vroeger werd zeegras geoogst en na droging gebruikt als matrasvulling (Foto: Zuiderzeemuseum).

Rechts: Het handwerk van de ecooloog: het nemen van monsters in de natuur (Foto: René Kleingeld).





Prof Nienhuis: "De werkelijkheid is opgebouwd uit ecosystemen en niet uit afzonderlijke organismen. Uiteindelijk komt men toch bij ons terecht. Wij moeten de verworvenheden van fysiologen, taxonomen en dergelijke verhalen naar een hoger niveau. Een beheerder heeft geen boodschap aan het enzymstelsel van platvissen. Hij wil weten waardoor hun aantal afneemt. Dat kan alleen een ecoloog hem vertellen. We moeten bijvoorbeeld het begrip diversiteit opnieuw onderzoeken. Vroeger dacht men dat dit belangrijk was, maar je krijgt geen goede indruk van de kwaliteit van een natuurgebied door alleen soorten te tellen. Het verdwijnen van enkele planten is soms weinig relevant. Het kan veel belangrijker zijn dat bepaalde stadia in de levenscyclus van een soort zijn verdwenen.

Studenten

Het minder gunstige imago van de ecologie heeft onder meer geleid tot afname van het aantal studenten dat voor

deze specialisatie kiest. Wat kan men daaraan doen?

Die afname is volgens prof Nienhuis vooral te wijten aan de concurrentie van de biotechnologie en de moleculaire biologie. Die beloven werk op korte termijn. Studenten zijn op het ogenblik erg praktisch in hun overwegingen voor de ene of andere specialisatie, meent hij.

"Tien jaar geleden meende men dat de ecologie veel perspectieven bood. Iedere gemeente en elk waterschap moest een ecoloog in dienst hebben en elke provincie misschien wel tien. Maar de wal heeft het schip gekeerd. De overheid heeft liever mensen met twee rechterhanden: civiele ingenieurs bijvoorbeeld. Ecologen bleken te onpraktisch. Ze hebben zichzelf buiten spel gezet door het geven van te snelle, te simpele adviezen. Er heeft een enorme wildgroei plaatsgevonden, men noemt zichzelf al snel ecoloog en dat heeft zich tegen ons gekeerd. De ecologie moet zichzelf opnieuw waarmaken."

Wat is dan het verschil tussen een ecoloog en bijvoorbeeld een milieukundige? Volgens prof Nienhuis is het belangrijkste onderscheid dat milieukundigen de mens centraal stellen; in de ecologie is de mens een onderdeel van het systeem. Door de ecologie in dienst te stellen van de mens, is ze uitgegleden.

Prof Nienhuis: "Maar er waait een frisse wind. Het geloof in de schijnwetmatigheden van de zeventiger jaren is gegaan. We gaan op zoek naar nieuwe basistheorieën. De ecologie is in de jaren zestig en zeventig te snel gegroeid. Die fase hebben we achter ons gelaten. We zijn op ons gezicht gevallen en gaan nu terug naar de wortels van de ecologie".



STARWARS IN NEDERLAND

JAN VAN DEN ENDE

Door de grotere vernietigingskracht van de projectielen van de railgun wordt het makkelijker om de bepantsering van tanks te doorboren.

TNO werkt sinds vorig jaar aan een onderzoek dat deels met geld uit het Starwars-project in de Verenigde Staten wordt gefinancierd. Er is in Delft een nieuwe afdeling voor opgericht. Het onderzoek richt zich op het elektromagnetisch lanceren van kogels of grotere projectielen. Ze worden tussen rails geplaatst en met elektromagnetische energie weggeschoten. Een gebruikelijker naam is *railgun*, een geweer met rails. Doel is om projectielen met hogere snelheden weg te schieten dan met de traditionele technieken. De maximale snelheid die met een kruisvuurwapen gehaald kan worden is zo'n 1,5 kilometer per seconde. Met een railgun is het theoretisch mogelijk snelheden tot 10 à 15 kilometer per seconde te halen. De projectielen krijgen daardoor een grotere vernietigingskracht. Bovendien is het makkelijker bewegende doelen te treffen. Men hoeft minder ver vóór het doel te richten en er is minder kans dat het doel tussentijds een onverwachte beweging maakt. In het Amerikaanse Strategisch Defensie Initiatief (SDI ofwel Starwars) worden railguns gebruikt om vijandelijke raketten te treffen; ze worden gestationeerd in de ruimte of op het land.



Oud-defensie-minister en TNO-bestuurder de Geus
(Foto: TNO)

24 Miljoen gulden

Het onderzoek is tot stand gekomen op initiatief van de huidige leider ervan, Dr W.J. Kolkert. Kolkert werkte enkele jaren in de Verenigde Staten aan railgun-onderzoek in een instituut van de krijgsmacht. Bij zijn vertrek uit de Verenigde Staten kreeg hij de toezegging dat hij steun zou krijgen als hij in Europa met zijn onderzoek door zou gaan. In Nederland diende hij bij de afdeling defensie-onderzoek van TNO een voorstel in. In 1987 werd tussen TNO en de SDI-organisatie in de Verenigde Staten een overeenkomst afgesloten. De SDI-organisatie zou apparatuur le-

veren ter waarde van zo'n 10 miljoen gulden. TNO draagt 14 miljoen gulden bij in een periode van vijf jaar, zodat totaal zo'n 24 miljoen gulden beschikbaar is.

TNO bouwt een complete railgun-installatie. In een proefinstallatie zullen projectielen met elektromagnetische energie weggeschoten worden. Een belangrijk onderdeel van het onderzoek betreft de energie-opwekking. Zo worden er batterijen beproefd die, anders dan gebruikelijk, gedurende een fractie van een seconde zeer grote vermogens leveren. Verder is er voor de stroomopwekking een nieuw type generator ontwikkeld (zie kader).

De vraag rijst wat het doel is van TNO met dit onderzoek. Een gesprek met Dr P.B.R. de Geus, lid van de Raad van Bestuur van TNO en verantwoordelijk voor het defensie-onderzoek. De Geus heeft een militaire loopbaan achter de rug. Hij was meer dan 25 jaar officier bij de Marine. In 1980 en 1981 was hij

Minister van Defensie in het eerste kabinet Van Agt. De Geus: "Het onderzoek richt zich op het ontwikkelen van anti-tankwapens. Door de grotere vernietigingskracht van de railgun is de bepantsering van tanks makkelijker te doorboren. De lanceerinstallatie van de railgun moet daarvoor mobiel worden, al

dan niet met een apart voertuig voor de energielevering. Uiteindelijk zal de railgun ook in het veld verplaatst moeten worden. Daarnaast wil de Marine hem mogelijk gebruiken in luchtafweergeschut." Het gebruik in luchtafweergeschut ligt voor de hand gezien het eerdergenoemde mogelijkheid om be-

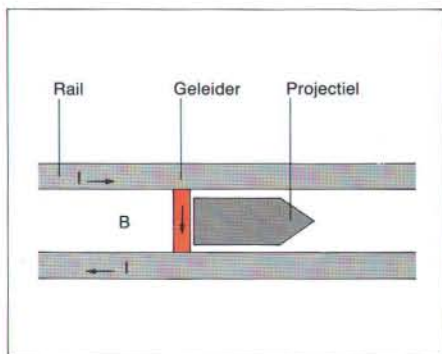
RAILGUN

Het principe van elektromagnetisch lanceren berust op de Lorentzkracht. Het projectiel wordt geplaatst tussen twee rails met daarachter een geleider die over de rails kan schuiven. Door de rails en de geleider wordt een elektrische stroom I gevoerd, die een magnetisch veld B opwekt. De Lorentzkracht van het veld op de geleider heeft de richting van de rails, en het voorwerp beweegt vooruit. Hiermee kunnen hoge snelheden bereikt worden door de stroomsterkte in de rails zeer hoog op te voeren gedurende de korte tijd die nodig is om het voorwerp weg te schieten. Om deze stroom op te wekken worden speciale generatoren gebruikt. Deze generatoren bestaan uit een vliegwiel dat ronddraait in een magnetisch veld (de Faraday-schijf-generator). In het vliegwiel, dat

meestal van ijzer is, ontstaan potentiaalverschillen, die men kan gebruiken om in korte tijd een grote stroom te genereren. Naast de generator is ook de geleider die het projectiel voortdrijft, cruciaal. Deze moet enerzijds met zo min mogelijk wrijving over de rails glijden, anderzijds moet hij goed contact met de rails maken. Men heeft ontdekt dat daartoe in plaats van een metaal ook een plasma gebruikt kan worden. Zo'n plasma ontstaat als bepaalde metalen door oververhitting verdampen. Dat plasma geleidt de stroom en oefent daarbij een kracht uit op het projectiel. Het idee om kogels elektromagnetisch af te schieten is niet nieuw. De Noorse professor Kristian Birkeland ontwikkelde al in het begin van deze eeuw een prototype. Bij het ontwerp

van een hydro-elektrische energiecentrale was hij op het fenomeen gestuit dat metalen voorwerpen in beweging gezet werden in een elektrische stroomkring, een fenomeen dat al eerder was waargenomen. Birkeland bedacht echter dat dit gebruikt kon worden om projectielen weg te schieten, en hij ontwierp in korte tijd een elektromagnetisch kanon, waarop hij in 1901 patent aanvroeg. Om reclame te maken voor zijn apparaat gaf hij met een prototype een demonstratie voor een zaal met deftige genodigden. Deze eindigde echter in een flinke lichtflits. In de Tweede Wereldoorlog werd er in Duitsland verder gewerkt aan het elektromagnetisch lanceren van projectielen, echter zonder resultaat. De techniek schoot te kort om de grote stromen op te wekken die gedurende korte tijd nodig zijn. In de jaren 70 werd echter in de Verenigde Staten de homopolaire generator ontwikkeld, niet door militairen maar in de olie-industrie, om snel elektrische lassen in oliepijpleidingen te kunnen maken en eventueel weer te ontkoppelen. In diezelfde tijd werd in Australië aan een universiteit een railgun gebouwd. Het Ministerie van Defensie in de Verenigde Staten werd hierdoor gestimuleerd de financiering van onderzoek naar elektromagnetisch lanceren uit te breiden.

Het principe van een railgun



wegende doelen te treffen. Zullen dit soort wapens de wapenvermindering zoals die nu in gang wordt gezet, niet bemoeilijken?

De Geus: "We zien het als een verbetering van de tankbestrijding en de luchtverdediging. Dat betekent een verbetering van het militair strategisch evenwicht. Het kan door de andere partij niet als bedreigend worden gezien." Kunnen ze niet als offensieve wapens worden gezien? "Dat zeg ik niet. Maar dat is heel ver weg op dit moment. Maar ik zeg nooit 'nooit'."

Bedreigend

Ir. J. Orbons, medewerker van de Technische Universiteit in Delft denkt daar anders over. Orbons doet onderzoek naar alternatieve opties voor de conventionele bewapening van de NAVO in Europa. Over de railgun zegt hij: "Het ligt het meest voor de hand de railgun in een tank te gebruiken. Het Warschau Pact heeft veel tanks en gepantserde voertuigen. Deze zijn erg kwetsbaar voor de railgun-tank. De NAVO wil wel defensief zijn, maar het gaat erom hoe de andere partij het interpreteert. De railgun-tank zou heel goed offensief gebruikt kunnen worden. Voor het Warschau Pact zal hier zeker een dreiging vanuit gaan. Het zal zich zeker verplicht voelen dezelfde technologie te ontwikkelen". Tegen het gebruik van de railgun in afweergeschut ziet Orbons minder bezwaren. Orbons: "Dat is veel defensiever. Voor de andere partij is daar weinig tegen te doen, vliegtuigen kunnen niet wendbaarder worden dan ze nu zijn, omdat piloten de grotere belastingen die door snelle bewegingen van het vliegtuig worden veroorzaakt, niet kunnen verdragen."

Volgens Orbons zullen railgun-tanks een belemmering zijn voor de onderhandelingen over vermindering van de conventionele bewapening in Europa, die binnenkort zullen plaatsvinden. "Bij die onderhandelingen moeten bijvoorbeeld het aantal NAVO-tanks tegen dat van het Warschau Pact afgewogen worden. Dat is nu al moeilijk omdat het Warschau Pact een numeriek overwicht heeft, terwijl de Westerse tanks van betere kwaliteit zijn. Als daar de railgun bij komt, zal aan andere zijde de animo om hun aantallen tanks te verminderen, zeker minder worden."

Starwars

De railgun zal in het Amerikaanse SDI-project worden gebruikt om naderende raketten neer te schieten. Als een nucleaire raket door een projectiel uit de railgun gemaakt wordt, spat de kernbom uit elkaar zonder te exploderen. Daarnaast wil men in het SDI-systeem zeer sterke laserstralen gebruiken om vijandelijke raketten al kort na het opstijgen uit te schakelen. Tegen het SDI-project zijn niet alleen politieke maar ook technologische bezwaren gezet. Gebleken is dat het systeem lang niet zo gemakkelijk gebouwd kan worden als aanvankelijk werd gedacht. Het plan is daarom gewijzigd. Het accent in de technieken is verschoven van de kennelijk te futuristische lasertechnieken naar 'eenvoudiger' technieken zoals anti-raketraketten en de railgun. De leiding van het Amerikaanse SDI-project wil bovendien al op korte termijn beginnen onderdelen van een gewijzigd systeem te bouwen, ondermeer om het publiek en de politici te laten zien dat er iets concreets gebeurt met de miljarden dol-



lars die zijn besteed. Het accent komt meer te liggen op het verdedigen van militair belangrijke installaties dan van de burgerbevolking.

De Geus denkt niet dat het TNO-onderzoek relevant is voor SDI. Hij heeft van SDI zeer lage verwachtingen. "Als lid van de Raad van Bestuur heb ik daar geen mening over. Als privé-persoon zeg ik: SDI is strategisch een verslechterende en technisch nog heel ver weg".

Wetenschappers die onderzoek aan de railgun doen, noemen het bouwen van een anti-raketsysteem voor Europa als één van de toepassingen. De vraag rijst of de railgun ook niet het bouwen van zo'n 'Europees SDI' mogelijk zou maken.

De Geus: "Misschien dat buitenlanders die suggestie doen, maar in Europa praten we niet over anti-raketsystemen. De afstanden die de Russische raketten tot Europa afleggen, zijn aanzienlijk korter dan tot de Verenigde Staten. De waar-



Een in het kader van het SDI-project ontwikkelde tank (Foto: Department of Defence, Washington).

schuwingstijden worden te kort. Daarom is het bouwen van een SDI-systeem voor ons niet voor te stellen. Er is geen scenario denkbaar, waarin dat zou voorkomen. Het is voor ons een non-onderwerp."

Orbons van de Technische Universiteit Delft sluit niet uit dat er een stimulans uit zal gaan van de railguntechniek om toch anti-raketsystemen te bouwen. Orbons: "De kortdrachtraketten in Europa hebben een lagere snelheid dan de raketten waartegen de Verenigde Staten zich met SDI willen verdedigen. Daardoor zijn ze juist gemakkelijker te raken. Ik verwacht dat deze toepassing van de railgun op zichzelf minder moeilijk is dan het gebruik in een mobiel anti-tanksysteem. Ik denk dat men het wel gaat bekijken".

In de Verenigde Staten wordt in situaties waarin niet duidelijk is hoe een techniek gebruikt zal worden, wel speciaal onderzoek gedaan onder

de naam *technology assessment*. Vóórdat een technologie wordt ontwikkeld, wordt onderzocht wat de gevaren ervan zullen zijn. Ook in Nederland pleiten sommige wetenschappers voor dat soort onderzoek. De Geus is ervan op de hoogte, maar hij ziet het niet als verantwoordelijkheid van TNO: "Ik sluit niet uit dat het gebeurt, maar het is onze taakstelling niet."

Politiek

Niet alleen de mogelijkheden om een Europees SDI-systeem te bouwen, ook de financiering van het TNO-onderzoek vanuit het SDI-project, is een politiek gevoelig punt. Enkele jaren geleden bood de regering van de Verenigde Staten alle NAVO-regeringen aan om mee te doen aan het SDI-onderzoek. Een bezwaar van verschillende regeringen, ook de Nederlandse, was dat het SDI-project in strijd is met het zogeheten ABM-verdrag. Dat verdrag legt aan de Sovjetunie en de Verenigde Staten beperkingen op voor het bouwen van anti-raketsystemen. Door het SDI-onderzoek wordt het verdrag feitelijk ondergraven, zo is de kritiek.

Enkele regeringen, onder andere de Britse, zetten hun bezwaren opzij met het oog op de financiële worst die hun vanuit de Verenigde Staten werd voorgehouden. De Nederlandse regering wilde echter niet meewerken, maar liet bedrijven vrij om dat wel te doen. De Geus is van mening dat deelname van TNO geen deelname van de Nederlandse overheid betekent. De Geus: "TNO is een privé-instituut, dat staat los van de politiek. TNO krijgt per jaar ongeveer 90 miljoen algemene vrij te besteden subsidie van de Nederlandse overheid. Uit die

middelen financieren we onze bijdrage aan dit onderzoek. We hebben de ruimte om verkennend onderzoek te doen. Daar is alleen TNO verantwoordelijk voor. Bovendien dateren de contacten met de Amerikaanse overheid al van vóór het SDI-project. Pas later zijn die bij hen overgedragen aan het SDI bureau."

Spin-off

Behalve de afdeling waar het railgunonderzoek plaatsvindt kent TNO nog een groot aantal andere afdelingen en binnen de organisatie lijken de meningen over de wenselijkheid van SDI-onderzoek verdeeld. Twee TNO-onderzoekers, Walter Zegveld en Christien Enzing, publiceerden onlangs een boek waarin ze het nut voor niet-militaire technologische ontwikkelingen, de zogenaamde spin-off, onderzochten. Volgens hen is die gering: SDI richt zich op technieken waar je buiten de krijgsmacht weinig aan hebt. De Geus is het met één conclusie eens: "Militair onderzoek wordt gedaan omdat men militaire doeleinden nastreeft." Desondanks heeft hij hoge verwachtingen van de civiele toepassingen van de railgun. Hij noemt schakeltechnieken, sleepcontacten en opslag van elektrisch vermogen.

Volgens bovengenoemde auteurs heeft militair onderzoek echter zelfs een negatieve economische invloed omdat het wetenschappers weghoudt van economisch nuttiger projecten. Als voorbeeld kan het economisch omhoogschieten van Japan dienen dat tot voor kort weinig geld uitgaf aan de krijgsmacht en aan militair onderzoek.

Kinderen zijn hinderen

Een gezin met honderd kinderen? Onvoorstelbaar, zulke superouders bestaan niet. Mensen krijgen hoogstens een paar kinderen groot, tien, twaalf is al heel veel. Vergeleken bij mensen en andere dieren met weinig jongen pakken mosselen, kabeljauwen en achaatslakken het heel anders aan. Honderdduizenden, miljoenen eieren stoten ze uit zonder daar verder zorg en liefde aan te besteden. Het zou ook onbegonnen werk zijn.

Over allerlei manieren van voortplanting heeft het Zoölogisch Museum in Amsterdam een tentoonstelling ingericht. Die laat zien dat de natuurlijke omgeving de strategie selecteert die het meeste biologisch succes, de meeste volwassen nakomelingen produceert. Alle dieren zijn daarop geselecteerd: op een zo groot mogelijk biologisch succes. Ouders zullen hun zorg en liefde verdelen over een zo groot mogelijk aantal jongen. De jongen daarentegen hebben er belang bij zoveel mogelijk zorg en liefde voor zichzelf te monopoliseren. Ze concurreren met elkaar om de zorg van de ouders. Er is dus een fundamenteel conflict tussen ouders en

jongen. Ouders proberen de lieve vrede te handhaven voor het gehele gezin, proberen hun liefde zo goed mogelijk te verdelen en manipuleren hun kinderen ter wille van de harmonie: ga nou fijn samen eens spelen, pas nu even op je zusje, doe even boodschappen voor allemaal. Maar het individuele jong heeft een eigen belang dat niet hetzelfde hoeft te zijn als dat van de ouders. Het zal niet op tijd naar bed willen, niet steeds braaf huiswerk maken of afstuderen, niet de boodschappen willen doen.

Dit biologische model verklaart de ouder-kind relatie totaal anders dan in de menswetenschappen gewoon is, maar ontnuchtering hoeft nog geen desillusie te zijn, want wie weet hoe het mechaniekje werkt kan er beter mee overweg. Bijvoorbeeld om 'generatieconflicten' te bestrijden.

Het Zoölogisch Museum van de Universiteit van Amsterdam is gevestigd in het Aquariumgebouw van Artis.

Openingstijden: di t/m zo 9.00-17.00 uur, Maandags gesloten.

Toegang via Artis, Plantage Kerklaan 40. Inl. ☎ 020-525 6289.



Vragen?

De vragen bedoeld voor gebruik in het onderwijs zijn deze maand gesteld bij het artikel over thermodynamica van levende systemen van prof Schuijff, dat begint op blz. 278. Deze vragen zijn voor Natuur en Techniek opgesteld door drs J. Bouma, vakdidacticus scheikunde aan de Vrije Universiteit in Amsterdam en drs A.J. Mast, leraar scheikunde aan het Petrus Canisius College in Alkmaar.

1. Hoe luiden de eerste en de tweede hoofdwet van de thermodynamica?
2. Er wordt wel eens gesproken van de derde hoofdwet. Hoe luidt die? Is deze in overeenstemming of in strijd met de strekking van dit artikel?
3. Wat betekent het woord fundamenteel? Geef voorbeelden van fundamentele natuurwetten.
4. Waarom vindt de schrijver dat de evolutie thermodynamisch kan worden beschouwd?
5. Geef met thermodynamische termen het verschil aan tussen:
 - a) een systeem in evenwicht
 - b) een stabiele evenwichtstoestand
 - c) een stationaire toestand.
6. Noem enkele vormen van energie.
7. De schrijver stelt vast dat de 'natuurlijke' gang van systemen verloopt van geordend naar chaotisch. Toch ontstaan er geordende systemen. Hoe wordt, om dit te verklaren, de tweede hoofdwet geformuleerd?
8. Wat wil de aanduiding *toestandsfunctie* zeggen? Is dat een intensieve of een extensieve grootheid?
9. Wanneer een vloeistof stolt (kristalliseert), neemt de entropie van die stof af. Hoe is dat in overeenstemming te brengen met de in de tijd toenemende entropie?
10. Is de koppeling van de begrippen entropie en wanorde uitge-

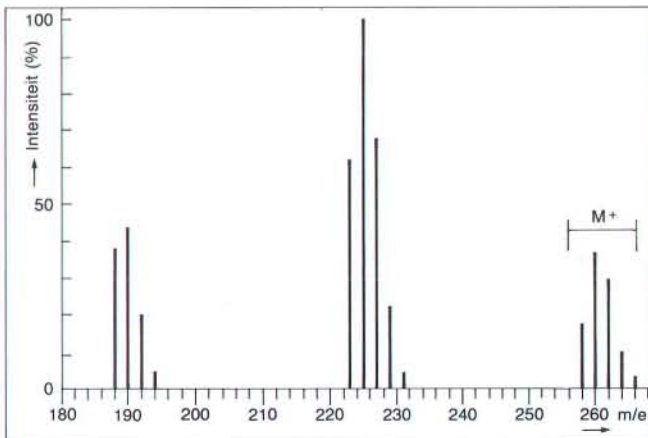
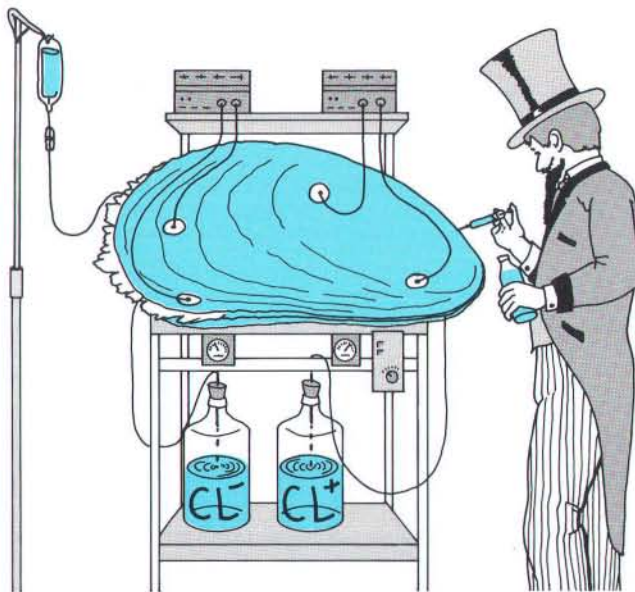
OPGAVEN & PRIJSVRAAG

drukt in de formule $dS = q_{rev}/T$ of in de formule $S = k \ln W$?

11. Op welke drie manieren kan energie worden overgebracht?

12. Op wat voor soort diffusie heeft de wet van Fick betrekking?

13. Welke twee voorwaarden gelden voor een dissipatieve structuur? Kan een individueel organisme als zodanig worden beschouwd?



Prijsvraag

De nieuwe opgave

Deze scheikunde-opgave is ons ter beschikking gesteld door de organisatie van de Nederlandse Chemie Olympiade.

Bij het onderzoek naar het voorkomen van chloor in zeemosselen in de buurt van een petrochemisch bedrijf werd een nieuwe verontreiniging gevonden die we voorlopig verbinding X noemen. X concentreert zich door middel van bioaccumulatie. De verontreiniging werd aangetoond met behulp van een massaspectrometer gekoppeld aan een gaschromatograaf. Hieronder staat een deel van het massaspectrum van X. Er zijn ook pieken met $m/e = 196, 233, 268$ en 270 , maar die zijn zeer klein. De pieken van de ionen met ^{13}C zijn ter vereenvoudiging weggelaten. Een gegeven is nog dat X ontstaat ten gevolge van de ontleding van synthetisch rubber dat gebruikt wordt als isolator in een elektrolysecel waarin chloor wordt geproduceerd. Gevraagd wordt de structuurformule van de verbinding X.

U kunt uw oplossingen naar het op de volgende bladzijde vermelde adres sturen.

OPGAVEN & PRIJSVRAAG

Prijsvraag

Oplossing februarinummer

Beschrijf hoe met vier luidsprekers die tevens als microfoon dienst kunnen doen een windsnelheidsmeter is te maken; een meter die niet alleen windkracht maar ook de windrichting kan bepalen en bij zijn metingen onafhankelijk van de geluidssnelheid is. Voor de oplossing moest het principe van de meting en de opstelling van de luidsprekers beschreven worden.

Veel problemen gaf deze opgave niet. De meeste inzendingen waren wel goed, maar een kanttekening is op zijn plaats. Meestal wordt de windsnelheid alleen in het horizontale vlak gemeten. Dan volstaan drie luidspreker/microfoons. De vierde geeft de mogelijkheid om ook de verticale component van de windsnelheid te meten. De meeste inzenders maakten geen gebruik van die mogelijkheid, maar plaatsten de vier luidspreker/microfoons in één vlak. Dat is materiaalverspilling, maar voor de uitslag wordt dit niemand aangerekend. Oplossingen met vier componenten in één vlak kregen van de puzzelredactie de maximaal zes punten die voor de ladder zijn te verdienen en dongen mee naar de maandelijkse lootprijs.

De basisformule voor de oplossing is af te leiden uit de opstelling van twee luidspreker/microfoons. Neem d als de afstand tussen de twee componenten, w de windsnelheid, c de geluidssnelheid en φ de hoek tussen de windsnelheid en lijnstuk d . Luidspreker 1 zendt een geluidspuls uit die t_1 seconde later door 2 wordt opgevangen. Dan geldt:

$$d = t_1 (c + w \cos \varphi)$$

Als 2 een puls uitzendt die t_2 seconde later bij 1 is, dan geldt:

$$d = t_2 (c - w \cos \varphi)$$

Daaruit volgt

$$\frac{d}{t_1} = c + w \cos \varphi \text{ en}$$

$$\frac{d}{t_2} = c - w \cos \varphi$$

en

$$w \cos \varphi = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{t_1} - \frac{d}{t_2} \right)$$

de component van de windsnelheid langs de verbindingsas van de luidsprekers is $w \cos \varphi$ en die hangt niet af van de geluidssnelheid c . Door nu één luidspreker in de oorsprong van een rechtshoekig assenstelsel te zetten en de drie andere op een bekende afstand langs de X-, Y- en Z-as te plaatsen, kan de component van de wind in drie onderling onafhankelijke richtingen worden bepaald. Is men alleen in de windsnelheid en -richting in de horizontale richting geïnteresseerd, dan kan men met drie luidspreker/microfoons volstaan.

Uit de goede oplossingen werd die van Koen De Vilder uit Dendermonde als prijswinnend geloot. Hij ontvangt een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur en Techniek naar keuze. Bovenaan de ladder verscheen met 64 punten C. Kentie uit Breda.

Oplossingen van de nieuwe opgave moeten uiterlijk 16 mei op de redactie zijn om mee te dingen naar de lootprijs en registratie voor de laddercompetitie. Adres: Natuur en Techniek Prijsvraag Postbus 415 6200 AK Maastricht

NATUUR EN TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-254044*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertenties:

R. Bodden-Welsch:

tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de CAHIERS BIO-WETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ. Abonnees op Natuur en Techniek en studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 105,- of 2060 F.

Prijs voor studenten: f 80,- of 1565 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 10,00 of 200 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR EN TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te

Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel,

nr. 437.6140651-07.

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Plantegenen

Dr ir J.H. Botterman

De genetische manipulatie van planten levert steeds minder problemen op. Inmiddels zijn er verschillende technieken beschikbaar. Eigenschappen als resistentie tegen virussen en insecten kunnen toegevoegd worden aan planten die ze nog niet hebben. Vooral in de landbouw liggen de toepassingen voor de hand. De eerste experimenten lopen al.



Hipparcos

A.A. Schoenmaker

Aan de lancering van een satelliet gaan jaren van denkwerk vooraf. De instrumenten aan boord moeten immers zo eenvoudig mogelijk ontworpen zijn. Geavanceerde technologieën vertonen te vaak gebreken, die in een satelliet niet verholpen kunnen worden. De Hipparcos-satelliet gaat in mei het heelal in. Hoe meet hij de positie van sterren?

Silicium

Prof dr J. Reedijk

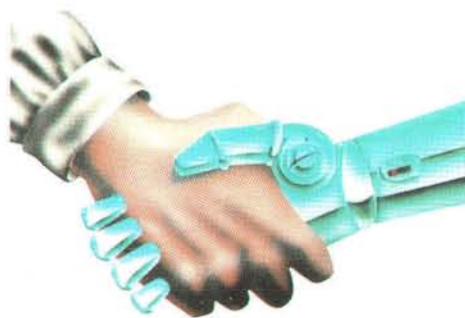
Na zuurstof is silicium het meest voorkomende element in de aardkorst. We vinden het in gebonden vorm in klei, zand, (half)edelstenen en allerlei mineralen. Zuiver silicium is een belangrijk materiaal voor de elektronische industrie. De vele verschijningsvormen van een element.



Komeetregens

Drs Th. de Haan

Vijfenzestig miljoen jaar geleden stierven de dinosaurussen uit. Waarom dat toen gebeurde houdt vele onderzoekers bezig. Eén theorie stelt dat de aarde in die tijd werd getroffen door één of meer verdwaaide kometen. Maar waar kwamen die dan vandaan? En waren ze echt verdwaaide?



Denkende machines

Prof dr ir N.J.I. Mars

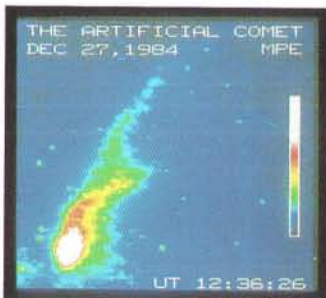
Vroeger heeft ooit een oplichter een schakende machine gebouwd. Er bleek een redelijk goede schaker in verborgen te zitten, die het denkwerk verrichtte.

Tegenwoordig bestaan er computerprogramma's die lijken te denken. Ze volgen de redeneringen van deskundigen, maar soms ook hun emoties.

Alternatieve genezing

Dr W.A.M. Linnemans en dr R. van Wijk

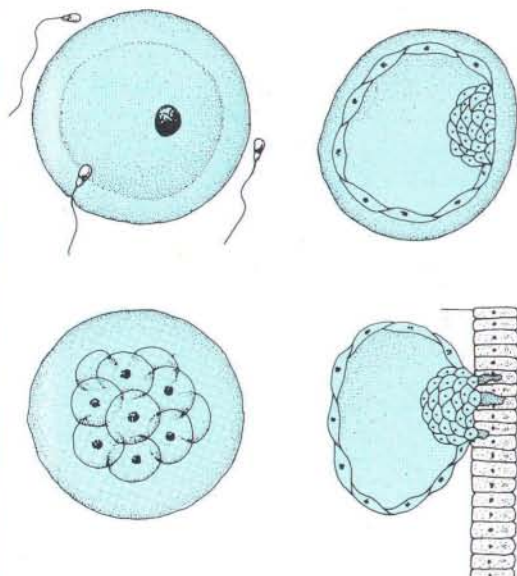
Wie genezing zoekt voor een kwaal, hoeft niet per se een arts te raadplegen. Ook andere genezers staan klaar. Hun methoden kunnen effectief zijn, maar zijn met natuurwetenschappelijke methoden vaak niet of moeilijk te verklaren. Met welke experimenten is deze kloof te overbruggen?



DNA - diagnostiek

**Zojuist
verschenen**

Onze erfelijke eigenschappen liggen vast in genen, die uit DNA bestaan. Door veranderingen in het DNA kunnen genen defect raken. In het onderzoek naar erfelijke ziekten en kanker probeert men defecte genen op te sporen. Daarnaast is men bezig om verwekkers van infectieziekten via hun DNA te identificeren. Met DNA-diagnostiek krijgt men voorkennis over het mogelijk optreden van erfelijke ziekten en afwijkingen. De vraag is hoe mensen met die kennis omgaan. Wil iemand weten welke kans op een bepaalde ziekte hij of zij loopt, ook als er nog geen behandeling mogelijk is? Mogen anderen die kennis gebruiken?



INHOUD

Voorwoord

H.M. Dupuis

Wat is DNA?

A.M. Kroon

Voorbeelden van DNA-diagnostiek:

Erfelijke ziekten

G.J.B. van Ommen &
P.L. Pearson

Kanker

P. Borst e.a.

Infectieziekten

J. van der Noordaa e.a.

Psychologische aspecten

P.G. Frets & M. Vegter-v.d. Vlis

Maatschappelijke aspecten

J.K.M. Gevers

CAHIERS BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ

Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 2 van de 13e jaargang.

Abonnementprijs (4 cahiers per jaar) f 25,00 of 485 F. Losse nummers f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek – Informatiecentrum – Op de Thermen – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht – Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-43254044.